

# **Robótica Móvil un enfoque probabilístico**

## **Exploración Multi-Robot**

Ignacio Mas

---

# Exploración

- Los métodos vistos hasta ahora fueron puramente pasivos
- Dado un entorno desconocido, ¿cómo podemos controlar múltiples robots para aprender eficientemente un mapa?
- Enfocándose en el control, se puede hacer más efectivo el proceso de mapeo

# Formulación de teoría de decisión para exploración

$$\pi(Bel) =$$

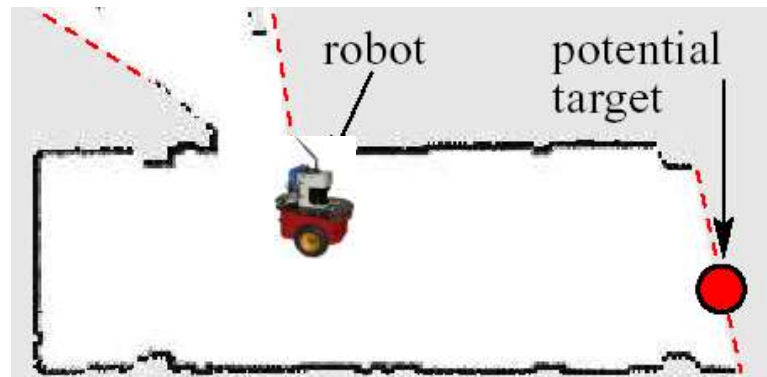
$$\operatorname{argmax}_u \left[ E_z[I_{Bel}(z, u)] - \alpha \int_x r(x, u) Bel(x) dx \right]$$

recompensa  
(ganancia de  
información esperada)

costo  
(longitud del camino)

# Exploración con un solo robot

- Las fronteras entre espacio libre y desconocido son potenciales objetivos
- Ir hacia las fronteras incrementará la ganancia de información



- Seleccionar el objetivo que minimiza una función de costo (ejemplo: tiempo, distancia,...)

# Múltiples Robots

Múltiples robots: ¿cómo controlarlos para optimizar el desempeño del grupo en su totalidad?

- Exploración
- Planeamiento de trayectorias
- Planeamiento de acciones...

# Exploración: el problema

## Dados:

- Un entorno desconocido
- Un grupo de robots

## Tarea:

- Coordinar los robots eficientemente para aprender un mapa completo del entorno

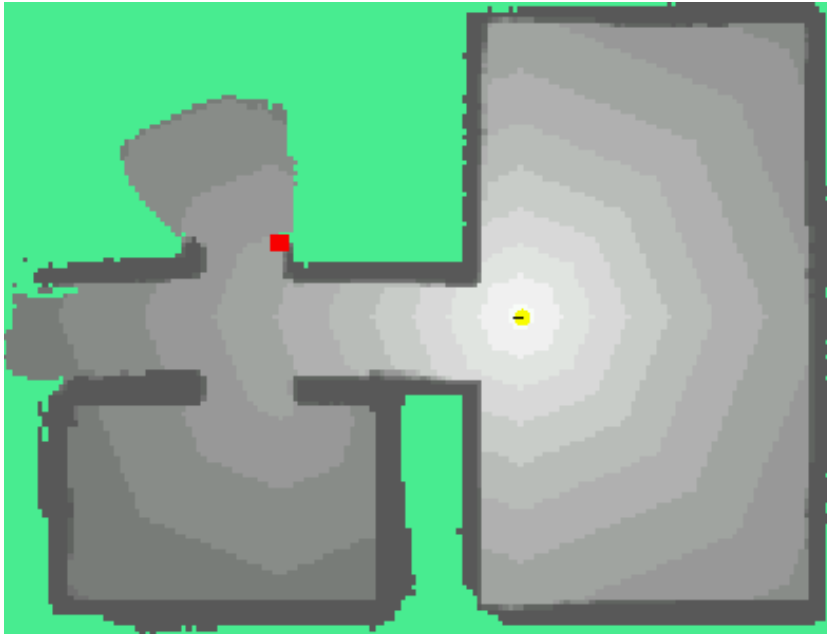
## Complejidad:

- Exponencial en el número de robots

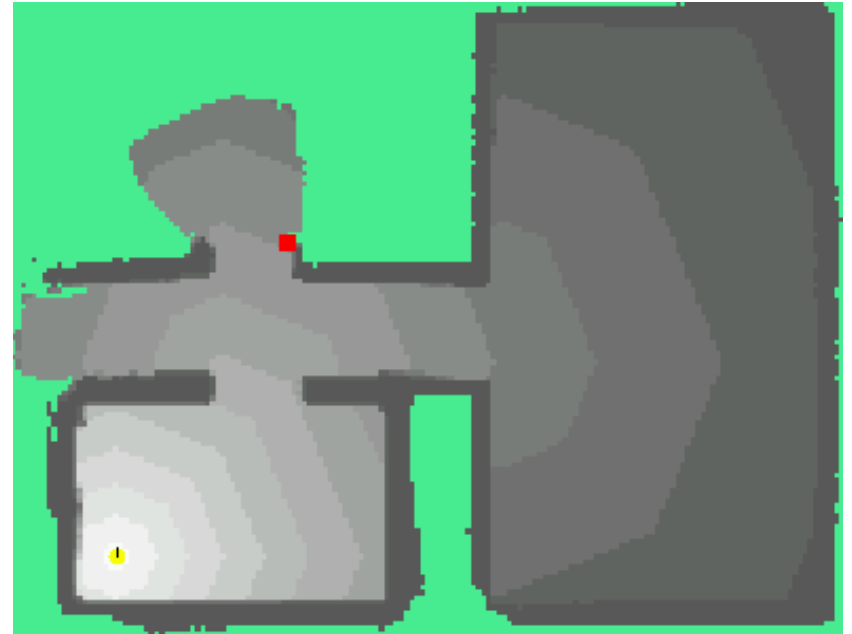


# Ejemplo

**Robot 1:**



**Robot 2:**



# Niveles de Coordinación

- Sin intercambio de información
- **Coordinación implícita** (no coordinada):  
compartir un mapa conjunto [Yamauchi et.al, 98]
  - Comunicación de los mapas individuales y las poses
  - Sistema central de mapeo
- **Coordinación explícita:**  
mejorar la asignación de robots a ciertas ubicaciones
  - Comunicación de los mapas individuales y las poses
  - Sistema central de mapeo
  - Planeamiento central para asignación de posiciones



# Coordinación explícita para exploración multi-robot

- Los robots **comparten** un mapa común
- Las **fronteras** entre espacio libre y desconocido son potenciales objetivos de posición
- Encontrar una buena **asignación** de robots a posiciones en las fronteras para minimizar el tiempo de exploración y maximizar la ganancia de información

# Ideas principales

1. Elegir objetivos en la frontera del área no explorada balanceando ganancia esperada de información y costo de viaje.
2. Reducir la utilidad de los objetivos cuando se espera que sean cubiertos por otro robot.
3. Usar mapeo on-line y localización para calcular el mapa conjunto.

# Algoritmo de coordinación (informal)

1. Determinar las celdas en la **frontera**.
2. Calcular para cada robot el **costo de llegar** a cada celda de la frontera.
3. Elegir el **robot con el menor costo** y asignarle ese objetivo.
4. Reducir la **utilidad** de las celdas que son visibles desde ese objetivo.
5. Si quedan robots sin asignación, volver al paso 3.

# Algoritmo de coordinación

1. Determine the set of frontier cells
2. Compute for each robot  $i$  the cost  $V_{x,y}^i$  for reaching each frontier cell
3. Set the utility  $U_{x,y}$  of all frontier cells to 1
4. While there is one robot left without a target point
  - (a) Determine a robot  $i$  and a frontier cell  $\langle x, y \rangle$  which satisfy

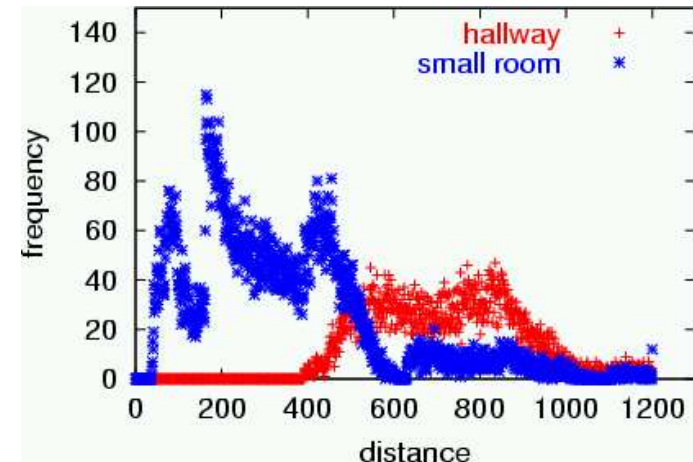
$$(i, \langle x, y \rangle) = \operatorname{argmax}_{(i', \langle x', y' \rangle)} U_{x', y'} - V_{x', y'}^{i'}$$

- (b) Reduce the utility of each target point  $\langle x', y' \rangle$  in the visibility area according to

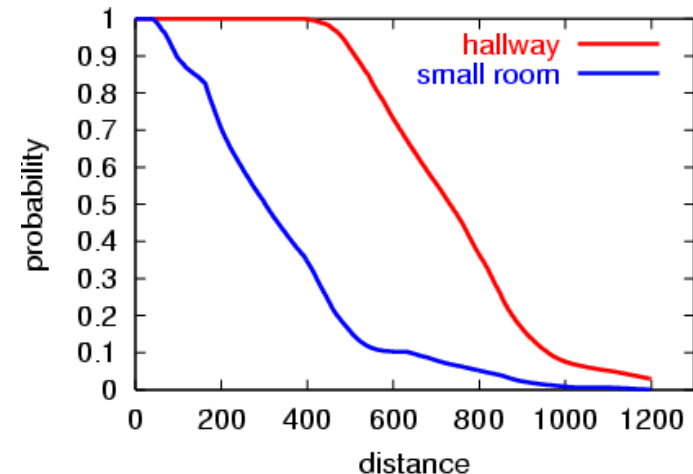
$$U_{x', y'} \leftarrow U_{x', y'} \cdot (1 - P(|| \langle x, y \rangle - \langle x', y' \rangle ||))$$

# Estimación del área visible

Distancias medidas durante la exploración:

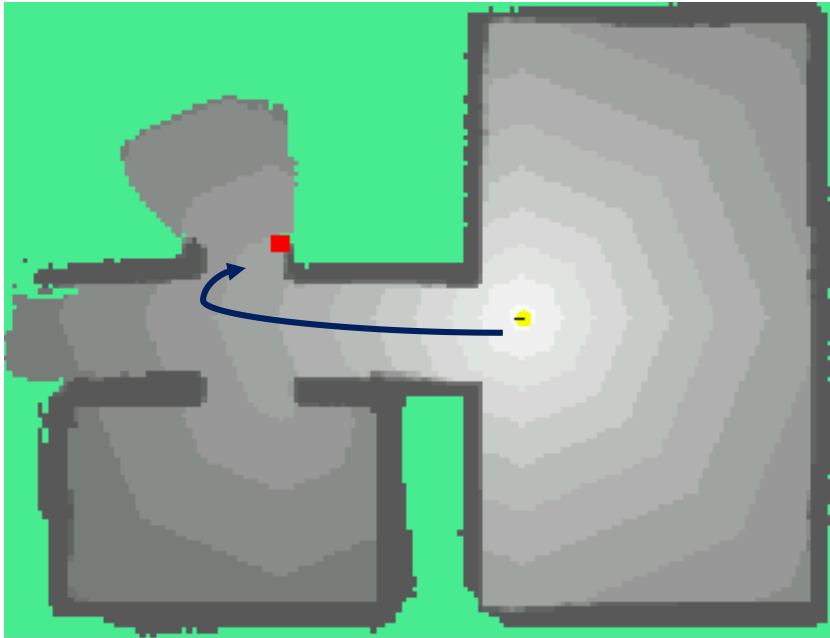


Probabilidad resultante de medir al menos una distancia  $d$ :



# Ejemplo de aplicación

primer robot:



segundo robot:

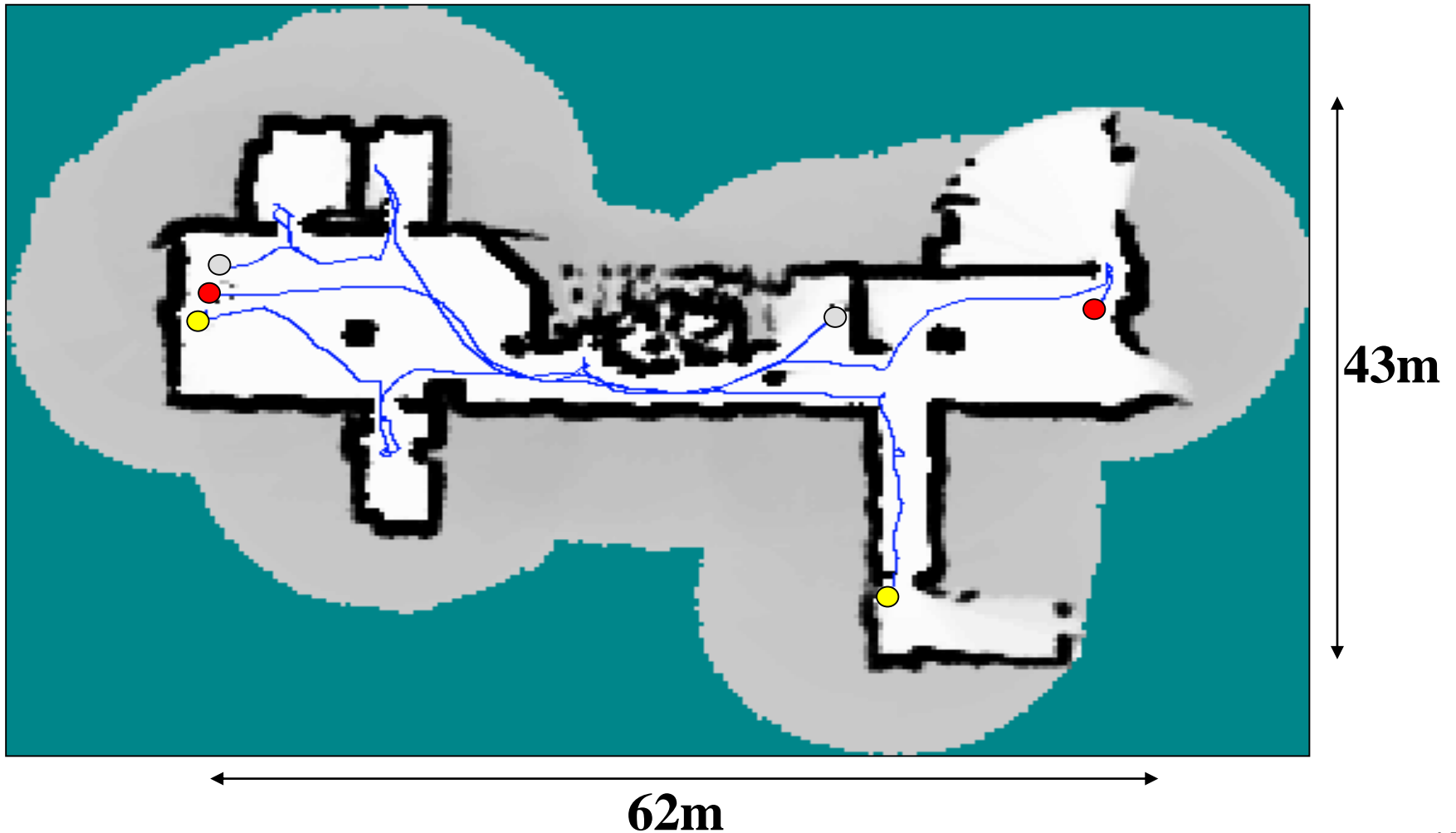


# Exploración Multi-Robot y mapeo de entornos grandes

Multi-Robot Mapping  
and Exploration

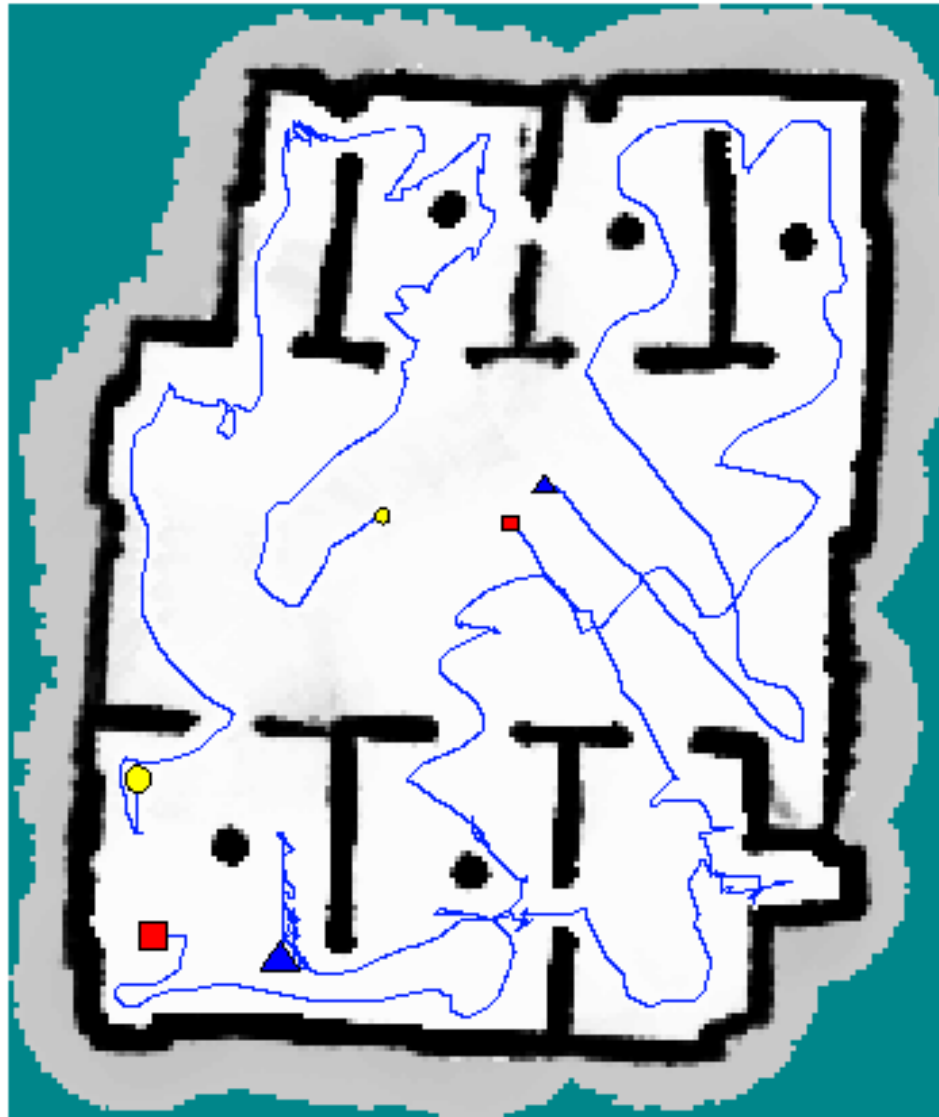
Carnegie Mellon  
October 1999

# Mapa resultante



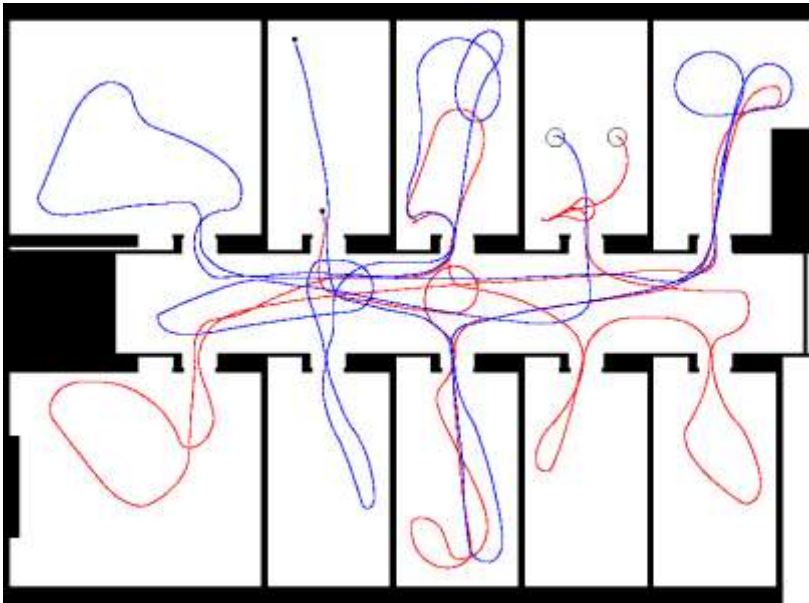


# Otra aplicación

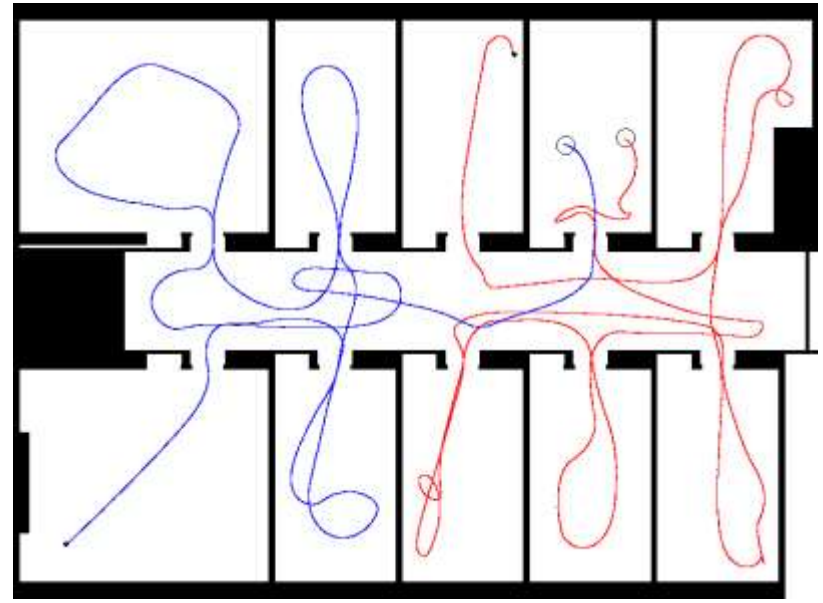


# Trayectorias típicas en un entorno de oficinas

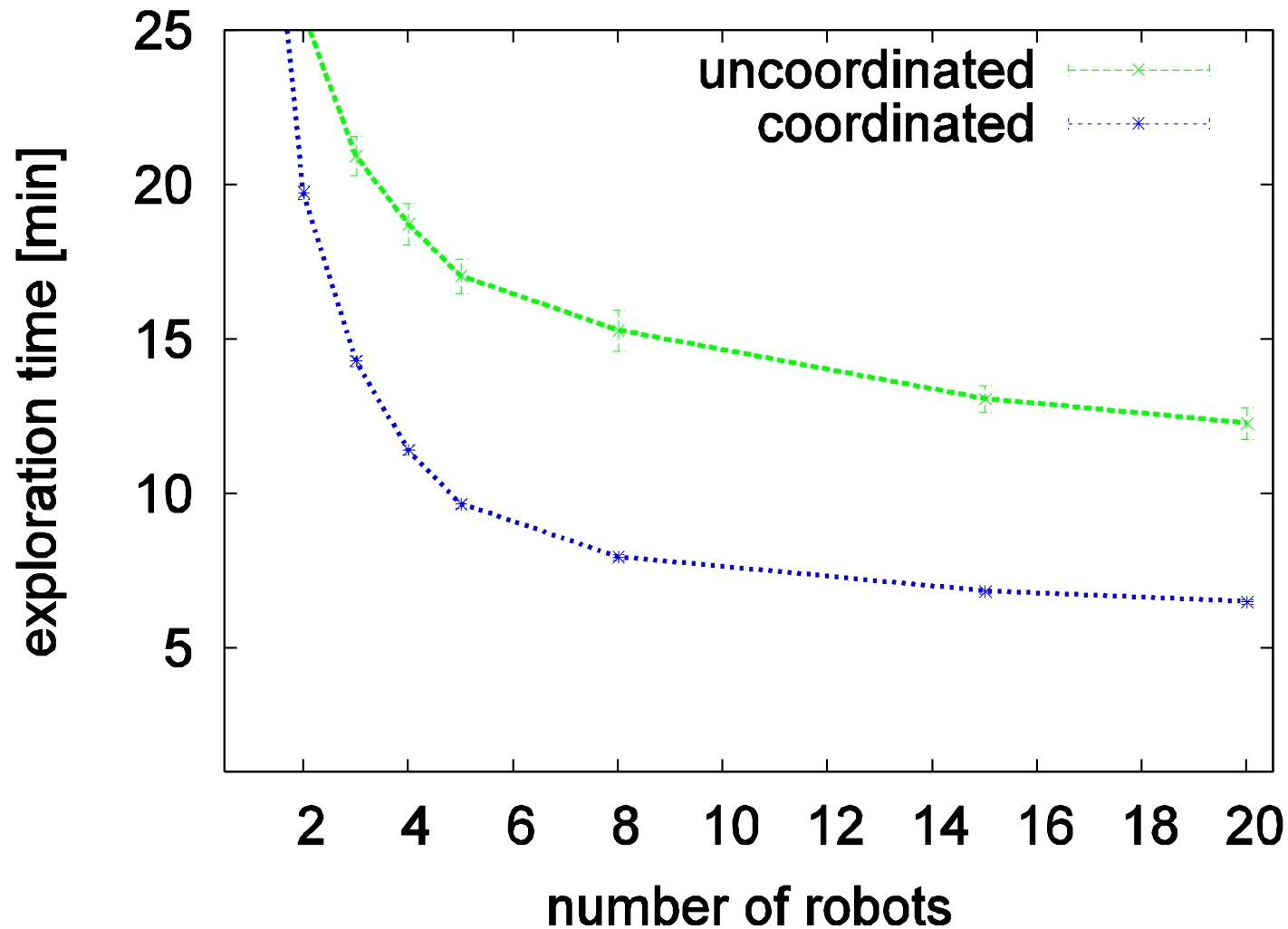
Coordinación implícita:



Coordinación explícita:



# Tiempo de exploración



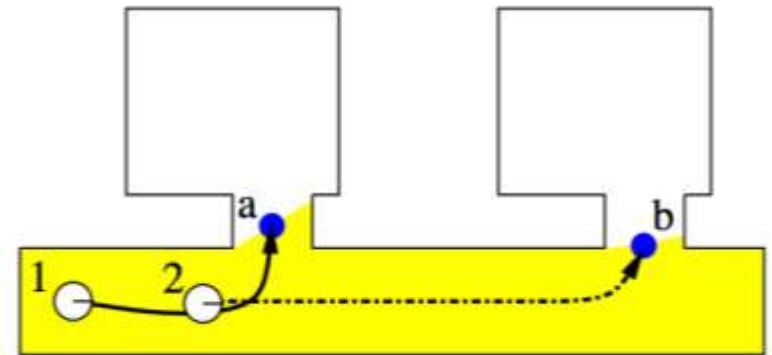
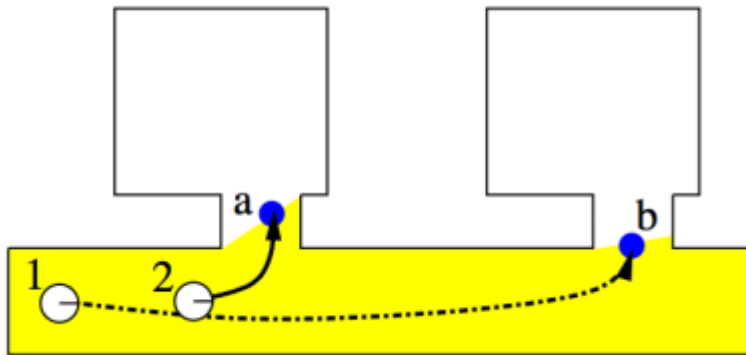
# Simulaciones de experimentos

**Coordinación explícita:**



# Optimización de asignaciones

- Lo que vimos hace una asignación voraz de robots a posiciones objetivo



- ¿Qué pasa si optimizamos las asignaciones?

# Algoritmo de optimización de asignaciones

---

**Algorithm 2** Goal selection determining the best assignment over all permutations.

---

- 1: Determine the set of frontier cells.
  - 2: Compute for each robot  $i$  the cost  $V_t^i$  for reaching each frontier cell.
  - 3: Determine target locations  $t_1, \dots, t_n$  for the robots  $i = 1, \dots, n$  that maximizes the following evaluation function:  
$$\sum_{i=1}^n U(t_i \mid t_1, \dots, t_{i-1}, t_{i+1}, \dots, t_n) - \beta \cdot (V_{t_i}^i)^2.$$
- 

Mira todas las permutaciones y elije la mejor.

# Optimización aleatoria

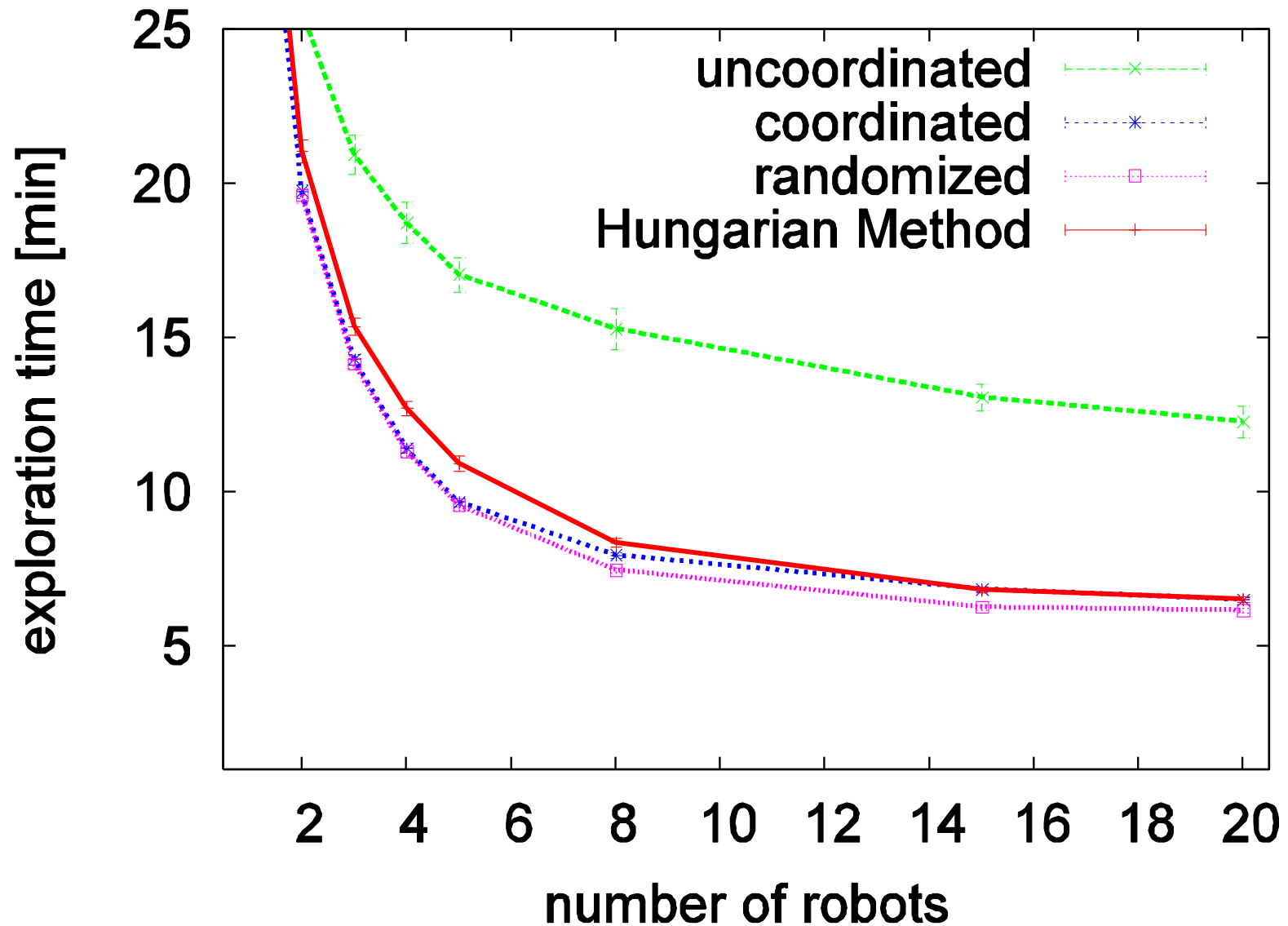
1. Empezar con una asignación inicial
  2. Seleccionar un par de asignaciones robot/objetivo
  3. Si la evaluación mejora, intercambiamos las asignaciones
- Variantes:
    - Aceptar evaluaciones momentáneamente más bajas pero que pueden mejorar luego
    - Hacer reinicios del sistema aleatoriamente

# Otras técnicas de coordinación

- Método húngaro:
  - Asignación óptima de trabajos a máquinas dada una matriz de costos fija.
  - Los resultados son similares a los vistos.
- Métodos guiados por economías de mercado:
  - Los robots hacen transacciones con objetivos.
  - La carga computacional es compartida entre robots



# Tiempo de exploración



# Resumen de exploración

- Una **coordinación** eficiente **reduce** los tiempos de exploración
- En general, **complejidad exponencial** en el número de robots
- La **distribución de robots** en el entorno es la clave de la eficiencia
- Los métodos balancean el **costo** de una acción con la **utilidad** esperada por llegar al objetivo (punto de frontera)

# Otros problemas

- Ubicaciones iniciales desconocidas
- Exploración en condiciones de incerteza de posición
- Limitaciones en la capacidad de comunicación
- Intercambio eficiente de información
- ...