

Robots Móviles

Modelos de movimiento y representación de mapas

Sergio Orts Escolano
Otto Colomina Pardo

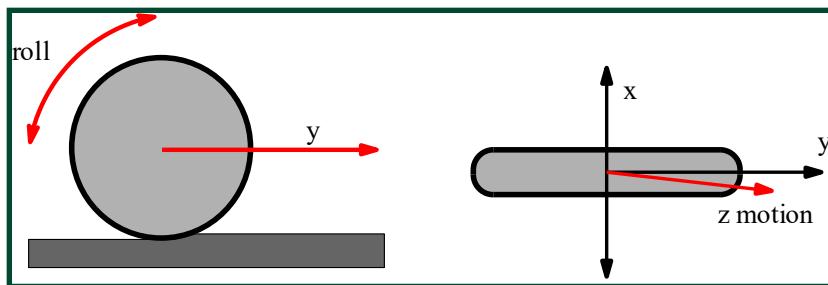
Índice

Modelos de movimiento Modelos de representación de mapas

Locomoción de un robot con ruedas

Locomoción:

Desplazamiento de un lugar a otro



- Conducción diferencial (AmigoBot, Pioneer 2-DX)
- Coche (Ackerman steering)
- Conducción síncrona (B21)
- Mecanum wheels, XR4000

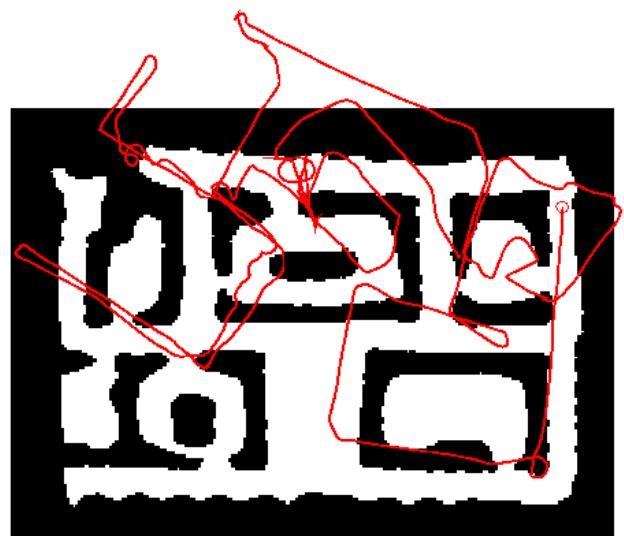
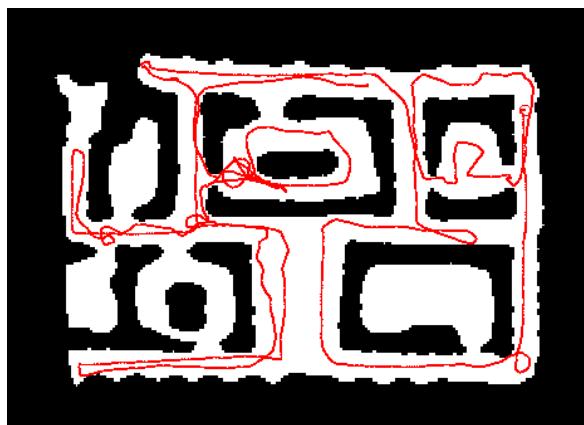
Configuración y movimiento del robot

- Para cualquier tipo de configuración, si una rueda tiene un radio r , podemos calcular el desplazamiento de dicha rueda usando $2\pi r$
- Odometría es la técnica que calcula la distancia desplazada midiendo el giro de las ruedas



SILVERLINE

Error en la odometria

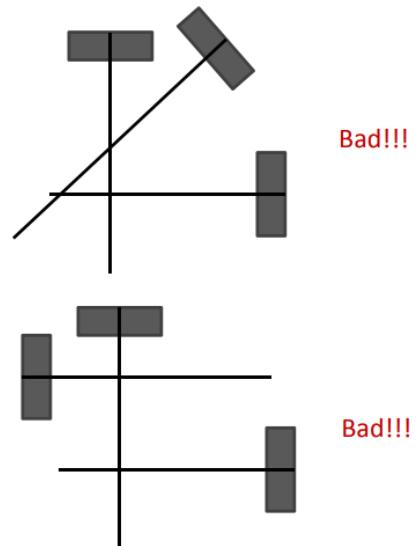
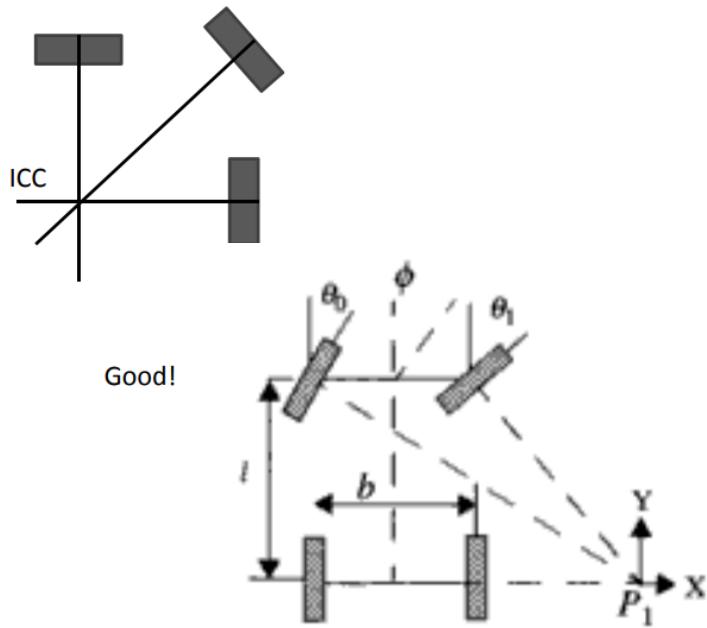


Centro de Curvatura Instantáneo (CCI)

- Una rueda no puede desplazarse en la dirección de su eje de giro. ¿Seguro?
- Las ruedas deben estar configuradas de tal manera que exista un punto (Centro de Curvatura Instantáneo CCI) sobre el que se realizará el giro del robot
- Dependiendo de la configuración del CCI tendremos distintos modelos de conducción. No todas las disposiciones de las ruedas permiten un movimiento correcto
- Cuando disponemos de varias ruedas, el giro del robot se consigue modificando alguna de las propiedades del giro de las ruedas (velocidad, orientación, etc.)

Ejemplo de CCI

- El punto de intersección de todos los ejes de las ruedas



Restricciones Holonomicas vs No Holonomicas

- Las **restricciones no holonómicas** limitan los posibles movimientos incrementales dentro del espacio de configuración del robot (los cambios en la posición) Más formalmente, son restricciones expresadas en términos de derivadas
 - Ejemplo: un coche no se puede mover lateralmente para aparcar, tiene que maniobrar
- Los **robots holonómicos** son aquellos que no tienen restricciones no holonómicas
- Otra forma de verlo es que un robot es holonómico si el número de grados de libertad es igual al número de grados de libertad controlables
 - ¿Cuántos grados de libertad tiene un coche? ¿Y cuántos controlables?



Modelos de conducción

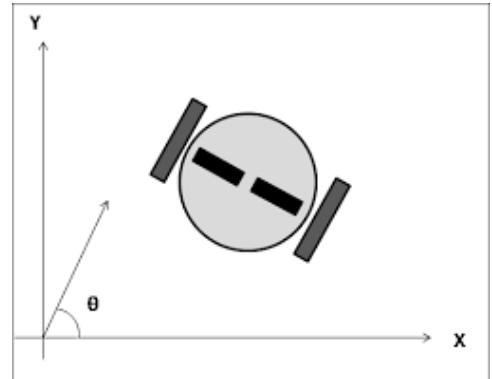
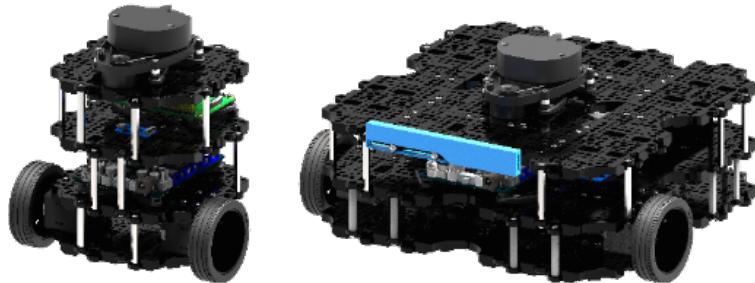
- Vamos a detallar dos modelos de configuración de ruedas para robots móviles
 - Conducción diferencial
 - Conducción síncrona
- Existen más modelos
 - Conducción dirigida: triciclo, biciclo
 - Modelo de Ackerman (vehículos)
 - Omnidireccional (ruedas mecanum)
- Algunos modelos incorporan una rueda de castor que no afecta al cálculo



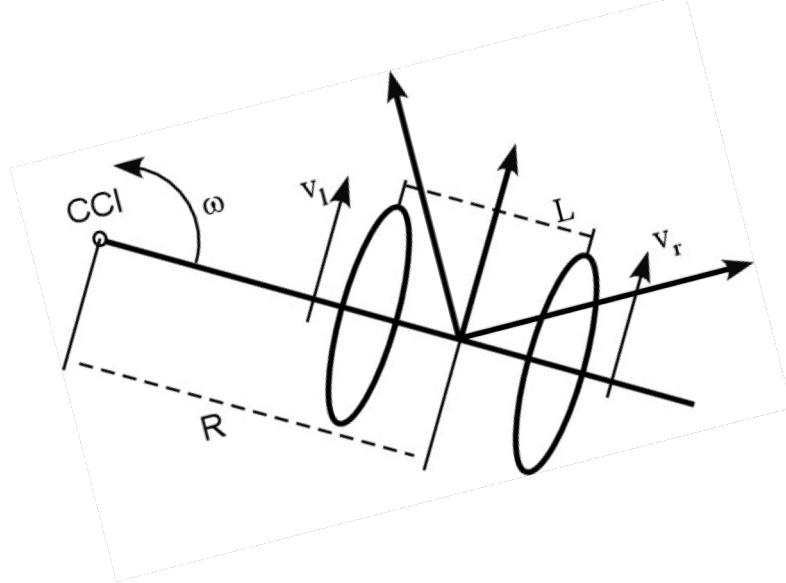
Rueda de castor

Conducción diferencial

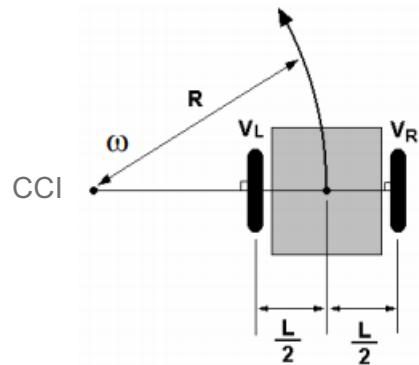
El robot puede moverse instantáneamente adelante o atrás pero no lateralmente por el deslizamiento de las ruedas



Conducción diferencial

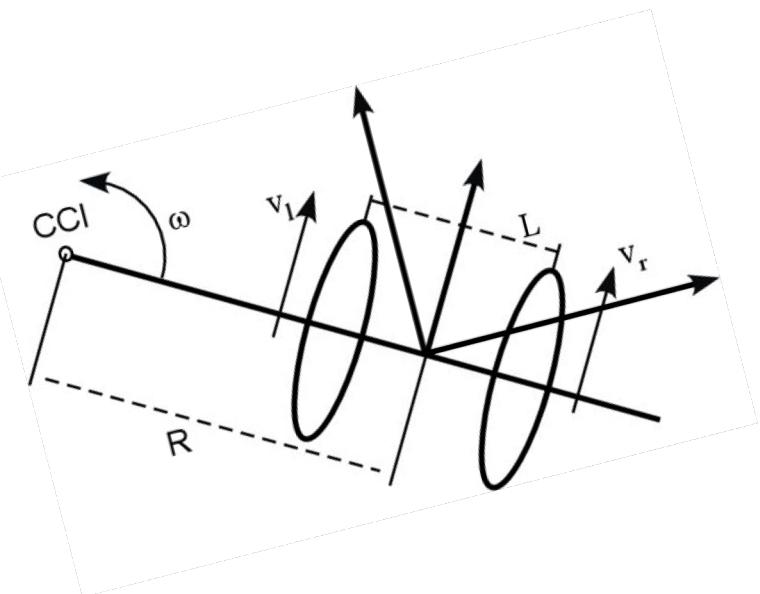


No hay ruedas directrices.
El cambio de dirección se realiza modificando la velocidad relativa de las ruedas a Izquierda y Derecha



- L es la distancia entre los centros de las dos ruedas
- R es la distancia desde el punto medio entre las ruedas y el CCI
- v_r y v_l son las velocidades tangenciales de la rueda derecha e izquierda, respectivamente
- En cada instante, R , v_r y v_l pueden ser distintas

Cinemática de la conducción diferencial



$$\omega \left(R + \frac{L}{2} \right) = v_R$$

$$\omega \left(R - \frac{L}{2} \right) = v_L$$

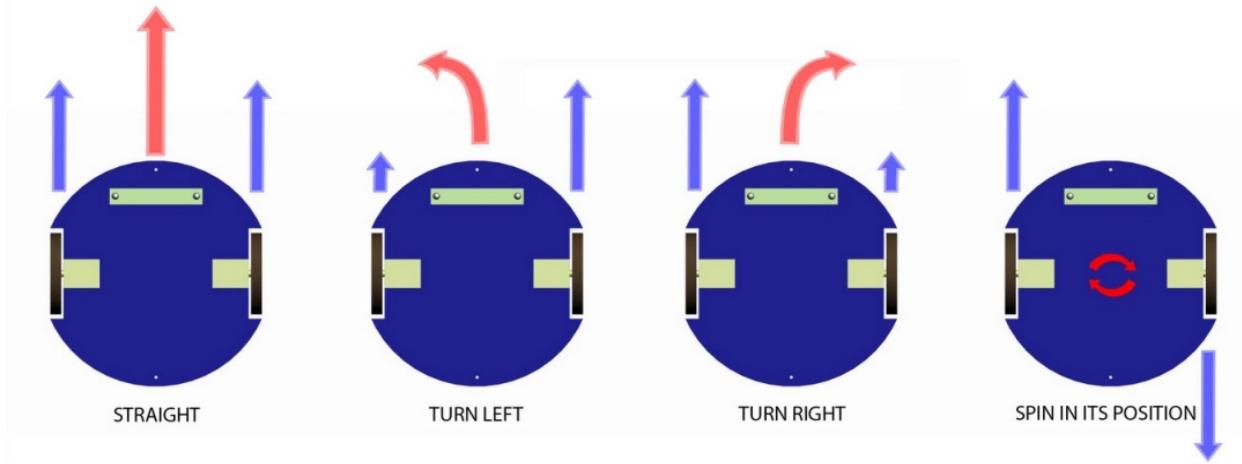


$$R = \frac{L}{2} \frac{v_L + v_R}{v_R - v_L}$$

$$\omega = \frac{v_R - v_L}{L}$$

$$v = \frac{v_R + v_L}{2}$$

Cinemática de la conducción diferencial



$$v_R = v_L$$

$$v_R > v_L$$

$$v_R < v_L$$

$$v_R = -v_L$$

$$v_R \geq 0$$

$$v_R \geq 0$$

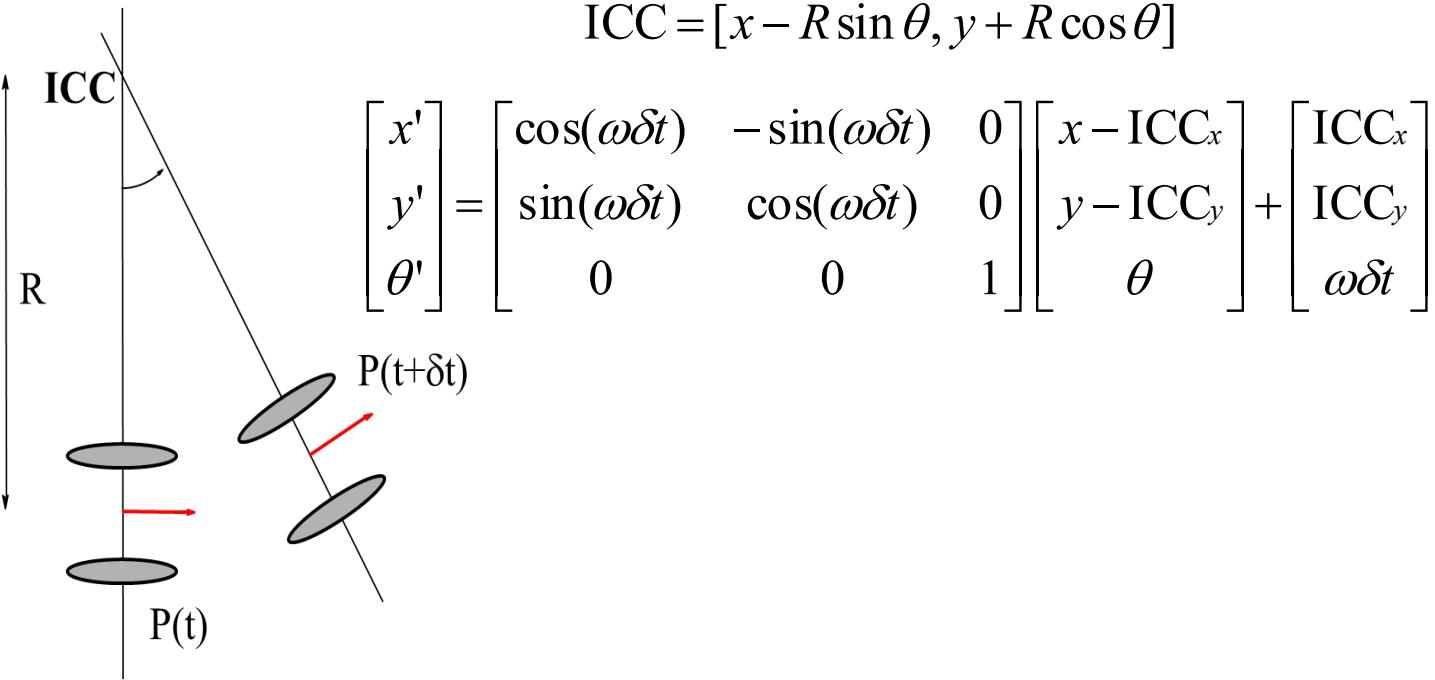
$$v_L \geq 0$$

$$v_L \geq 0$$

Cinemática directa de la conducción diferencial

- Actualización de las coordenadas

$$\text{ICC} = [x - R \sin \theta, y + R \cos \theta]$$

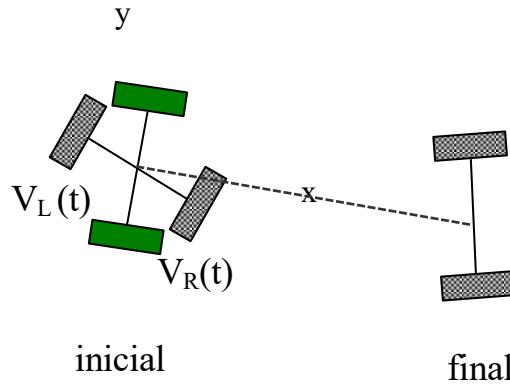


Cinemática inversa de la conducción diferencial

- Para llegar a una posición determinada en general vamos a poder seguir varios caminos alternativos
- Problema: ¿cómo determinar qué camino es mejor?. Nos podemos basar en
 - Camino más rápido
 - Más eficiente energéticamente
 - Perfil de velocidades más suave (evitar cambios muy bruscos)
- En la práctica lo más sencillo es controlar solo unos pocos DOF a la vez

(1) Girar sin avanzar para que las ruedas queden paralelas a una línea que conecte la posición inicial y la final

$$-V_L(t) = V_R(t) = V_{\max}$$

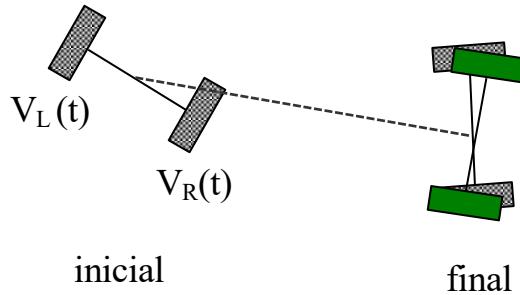


- (1) Girar sin avanzar para que las ruedas queden paralelas a una línea que conecte la posición inicial y la final

$$-V_L(t) = V_R(t) = V_{\max}$$

- (2) Avanzar recto hasta que el origen de coordenadas del robot coincida con el destino

$$V_L(t) = V_R(t) = V_{\max}$$



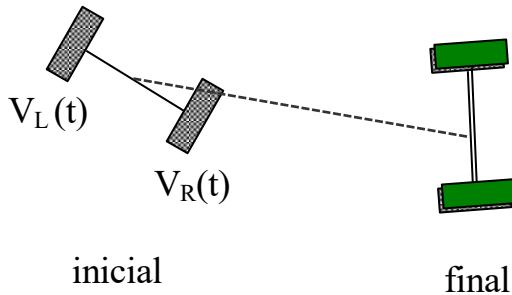
- (1) Girar sin avanzar para que las ruedas queden paralelas a una línea que conecte la posición inicial y la final

$$-V_L(t) = V_R(t) = V_{\max}$$

- (2) Avanzar recto hasta que el origen de coordenadas del robot coincida con el destino

$$V_L(t) = V_R(t) = V_{\max}$$

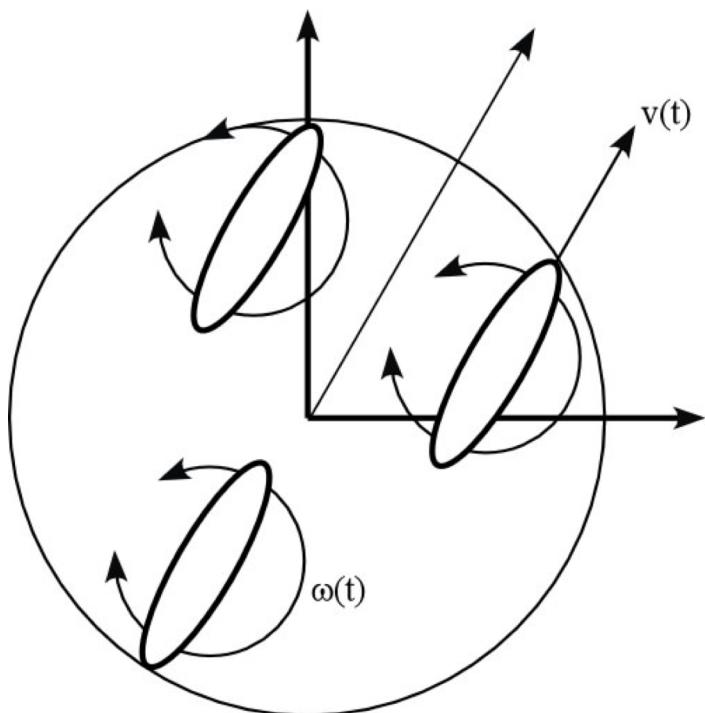
- (3) Rotar otra vez como en el paso (1) pero ahora para alcanzar la orientación final



Características de la conducción diferencial

- Ventajas:
 - Sistema barato
 - Fácil de implementar
 - Diseño simple
- Desventajas:
 - Es no-holonómica
 - No es posible que el robot se desplace (sin girar) de manera perpendicular a los ejes de las ruedas
 - Difícil de controlar
- Se suele utilizar una rueda castor para estabilidad
- Pequeñas variaciones en las velocidades de las ruedas (e incluso en el suelo) hacen que se produzcan errores en las trayectorias

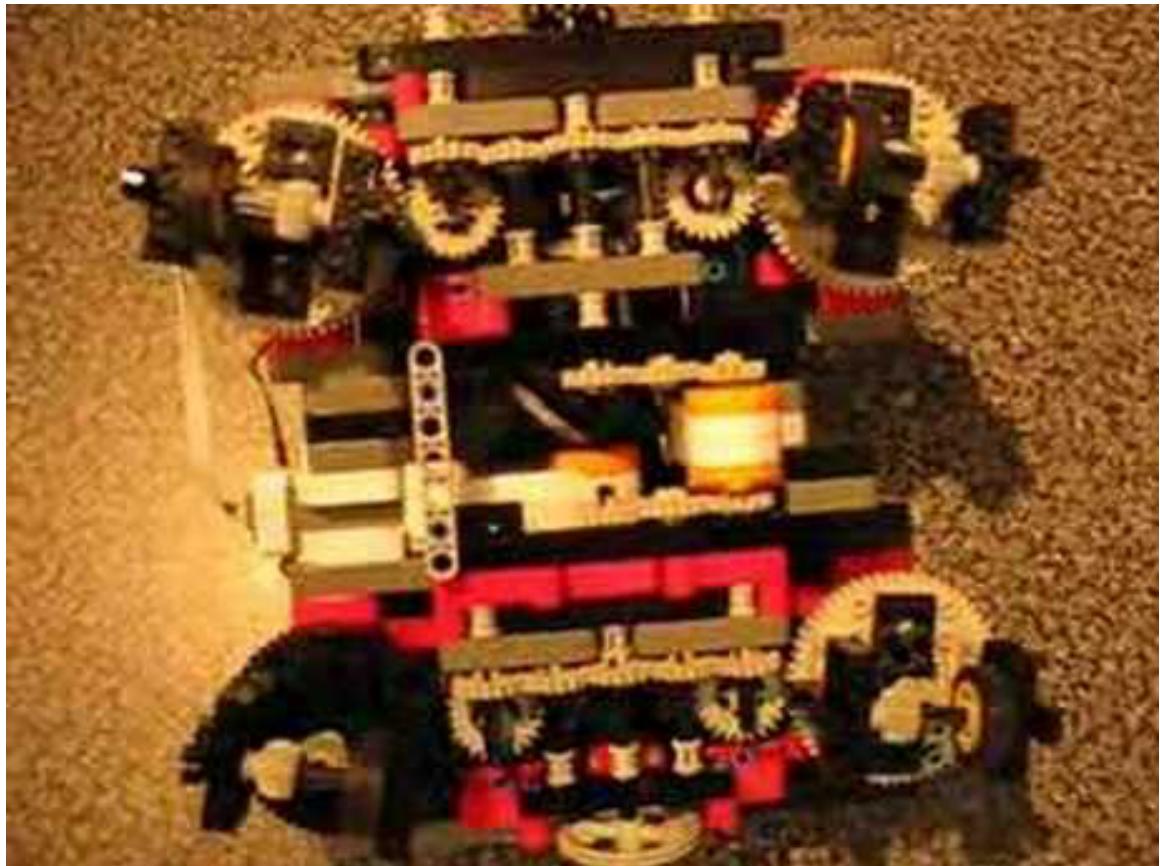
Conducción síncrona



$$\begin{aligned}\dot{x} &= -v \sin \phi \\ \dot{y} &= v \cos \phi \\ \dot{\phi} &= \omega\end{aligned}$$

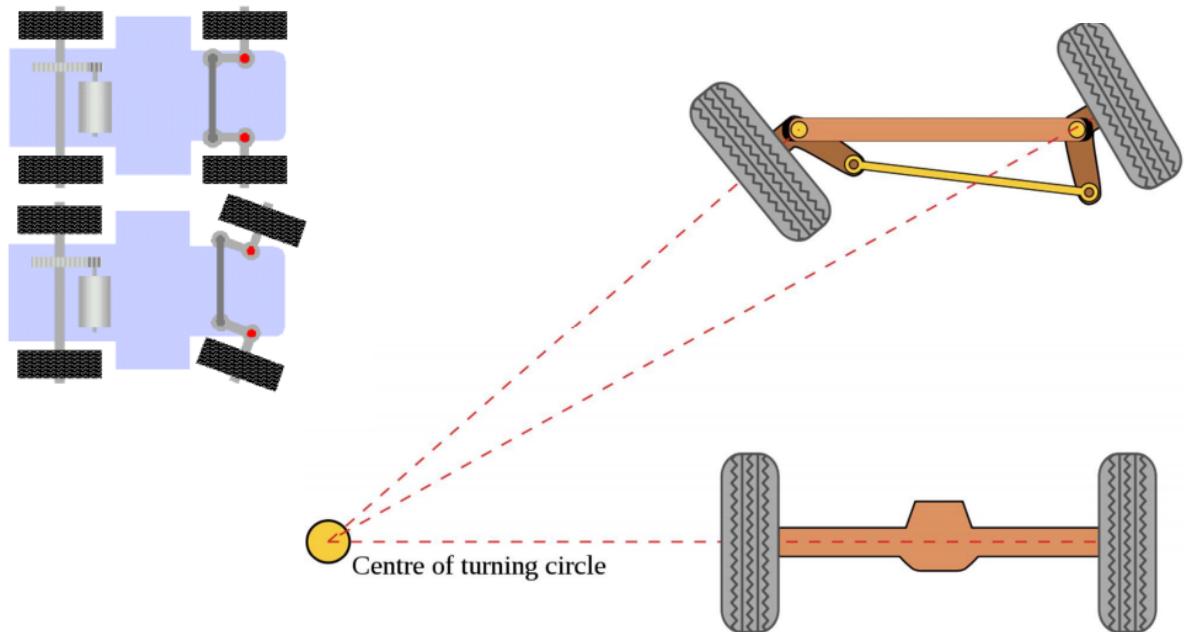
Características de la conducción síncrona

- Todas las ruedas giran a la vez
- Habitualmente dos motores, uno para el giro de las ruedas hacia delante y otro que hace que el robot gire
- También es no holonómica
- No es necesario que el robot gire para cambiar de dirección, sólo giran las ruedas
- También le afecta problemas en el suelo, pero en menor medida que el diferencial

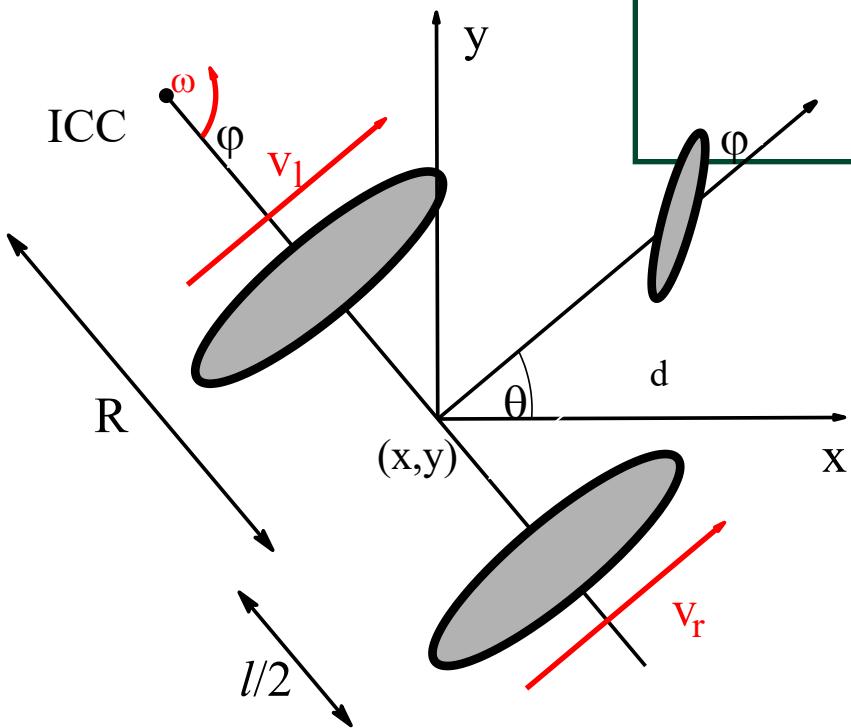


Lego Synchro Drive robot
<https://www.youtube.com/watch?v=THdu6QD8Roc>

Ackerman Steering



Ackermann Drive



$$\text{ICC} = [x - R \sin \theta, y + R \cos \theta]$$

$$R = \frac{d}{\tan \varphi}$$

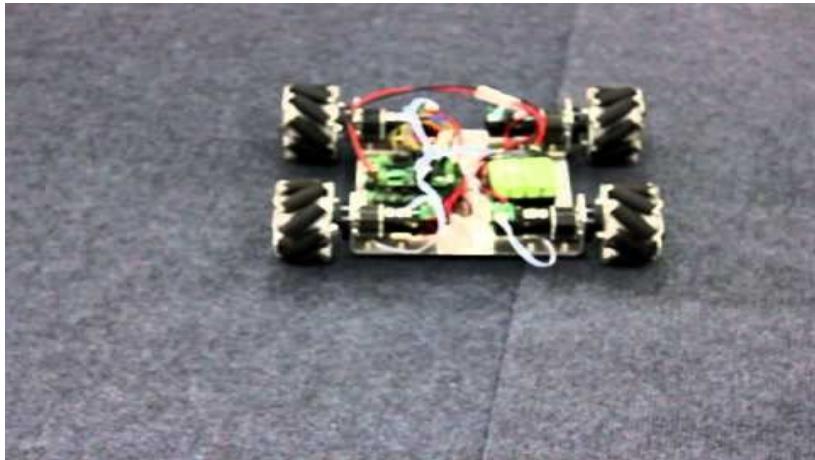
$$\omega(R + l/2) = v_r$$

$$\omega(R - l/2) = v_l$$

$$R = \frac{l}{2} \frac{(v_r + v_l)}{(v_r - v_l)}$$

$$\omega = \frac{v_r - v_l}{l}$$

Mecanum wheels



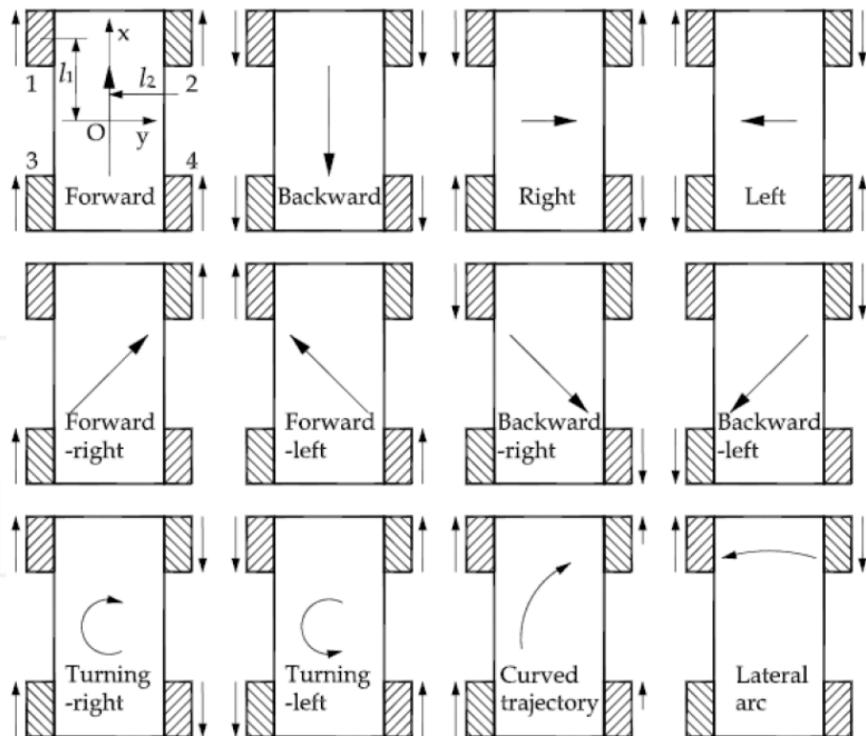
$$v_y = (v_0 + v_1 + v_2 + v_3) / 4$$

$$v_x = (v_0 - v_1 + v_2 - v_3) / 4$$

$$v_\theta = (v_0 + v_1 - v_2 - v_3) / 4$$

$$v_{error} = (v_0 - v_1 - v_2 + v_3) / 4$$

Mecanum wheels



Índice

Modelos de movimiento
**Modelos de representación
de mapas**

Modelos de representación para mapas

- El robot debe disponer de una representación interna del mundo por el que se mueve
 - Para establecer qué partes del entorno no están ocupadas (espacio libre)
 - Para reconocer regiones, localizaciones u objetos en dicho entorno
- Esta representación no debe ser exhaustiva, pero debe contener la suficiente información para que el robot no colisione

Mapas del entorno

- Contiene la posición de los obstáculos y otros objetos en el entorno
- Información de regiones no seguras o difíciles de atravesar
- Puede contener información de experiencias previas
- Puede ser utilizado para planificar tareas futuras

¿Qué formato de representación elegir?

- La precisión del mapa tiene que estar al nivel necesario para que el robot pueda conseguir su objetivo.
- La precisión del mapa y el tipo de características/formato debe encajar con el formato utilizado por los sensores del robot.
- La complejidad del mapa utilizado tiene un impacto directo en el coste computacional requerido por los algoritmos de mapeado, navegación y localización.

Representación de mapas

- Descomposición espacial
 - Realiza una discretización del entorno
 - No representa objetos sino el entorno en sí mismo
- Representación geométrica
 - Usan líneas, polígonos, puntos, etc.
 - Ahorran espacio en memoria
- Representación topológica
 - Más semejante a la de los humanos
 - No utiliza datos métricos
 - conectividad entre regiones: seguir el pasillo hasta encontrar la puerta y entonces girar a la derecha

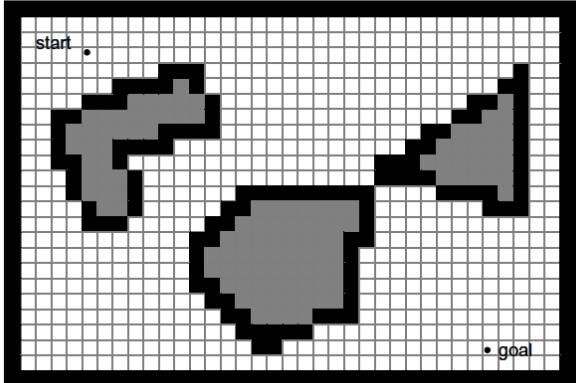
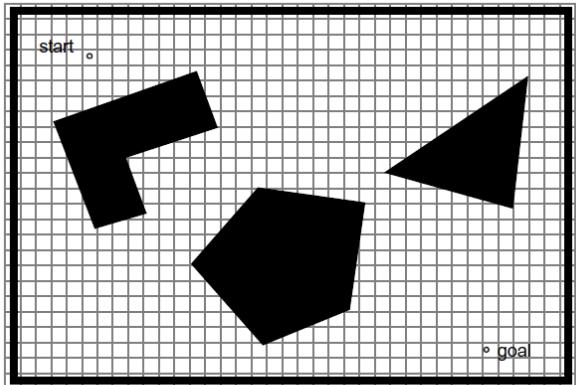
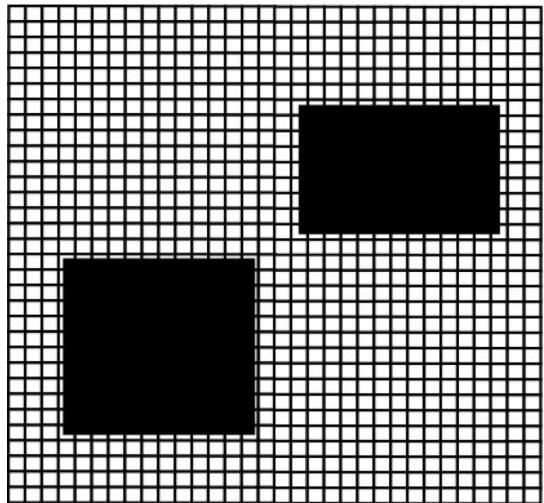
Descomposición espacial

- Suele hacer uso de una malla de ocupación
- Cada elemento (celda) de esta malla es una discretización del entorno que representa el grado de ocupación (ocupado, libre, parcialmente ocupado) por un obstáculo del espacio correspondiente en el entorno
- El número de celdas a utilizar vendrá dado por el tamaño del entorno y por la discretización permitida (dependerá del tamaño del robot, entre otros factores)
- Tres posibilidades: uniforme, quadtrees y exacta

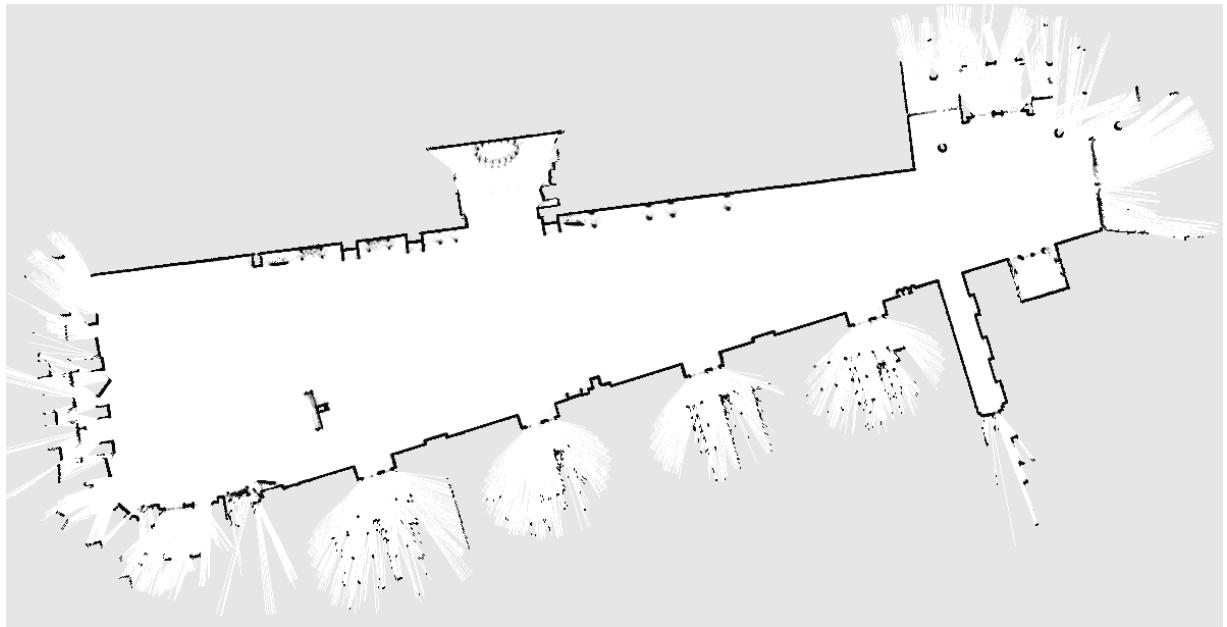
Descomposición uniforme

- El entorno se divide en un número regular de celdas, todas representando el mismo tamaño
- El valor de cada celda se puede calcular comprobando la cantidad de obstáculo que se encuentra en ella, tomando valores entre 0 (no obstáculo) y 1 (todo obstáculo)
- Costoso en términos de ocupación de memoria
- Manejo de obstáculos dinámicos (contador de ocupación por celda)

Rejilla de descomposición uniforme



Rejilla de ocupación

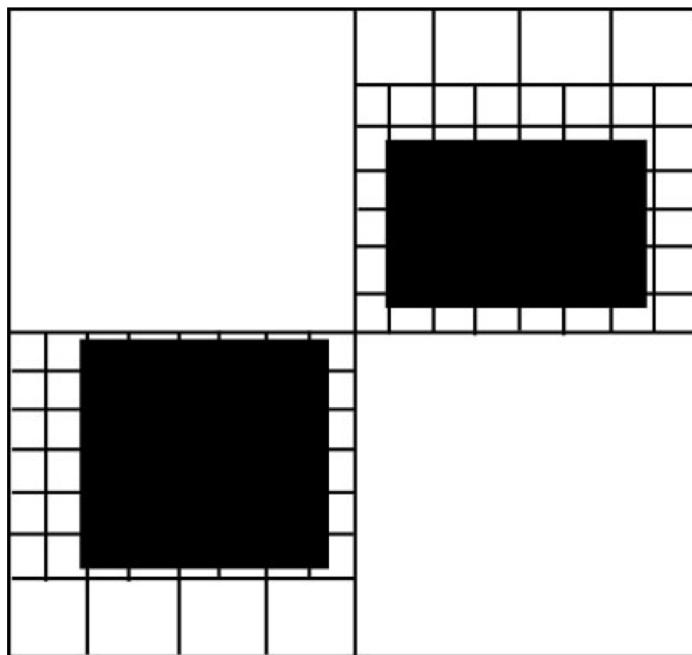


La probabilidad de ocupación de una rejilla esta representada por el valor de escala de gris utilizado. Blanco, espacio vacío, negro ocupado.

Descomposición mediante quadtrees

- En la representación anterior muchas celdas que son adyacentes tienen el mismo valor
- Podemos intentar subdividir el espacio de forma recursiva en trozos cada vez más pequeños, realizando la subdivisión si una celda no se encuentra uniformemente rellena
- Dicha subdivisión se realiza partiendo una celda en cuatro celdas iguales
- Los quadtrees ahorran espacio si existe gran cantidad de espacio libre o los obstáculos son de gran tamaño

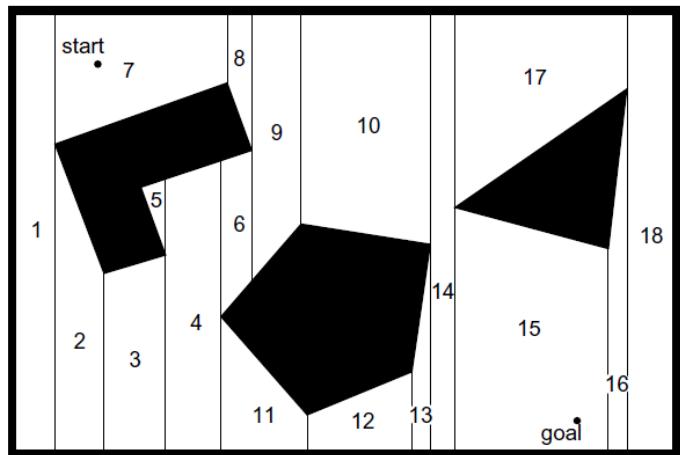
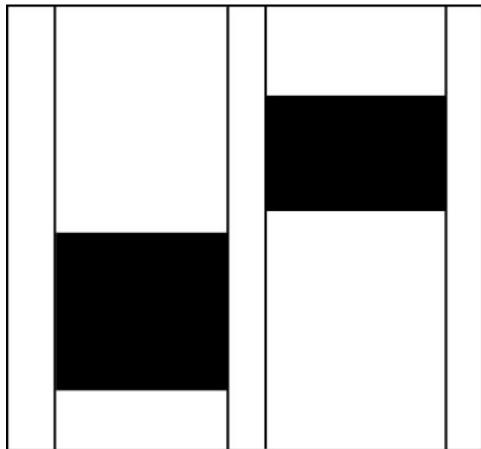
Rejilla obtenida mediante quadtrees



Descomposición exacta

- Los quadtrees partitionan las celdas en cuatro partes iguales
- Existe otra forma de realizar la descomposición que no tiene la restricción de los quadtrees, sino que permite dividir el espacio libre (sin obstáculos) en polígonos regulares
- No existe una forma única de obtener esta división

Rejilla obtenida mediante descomposición exacta

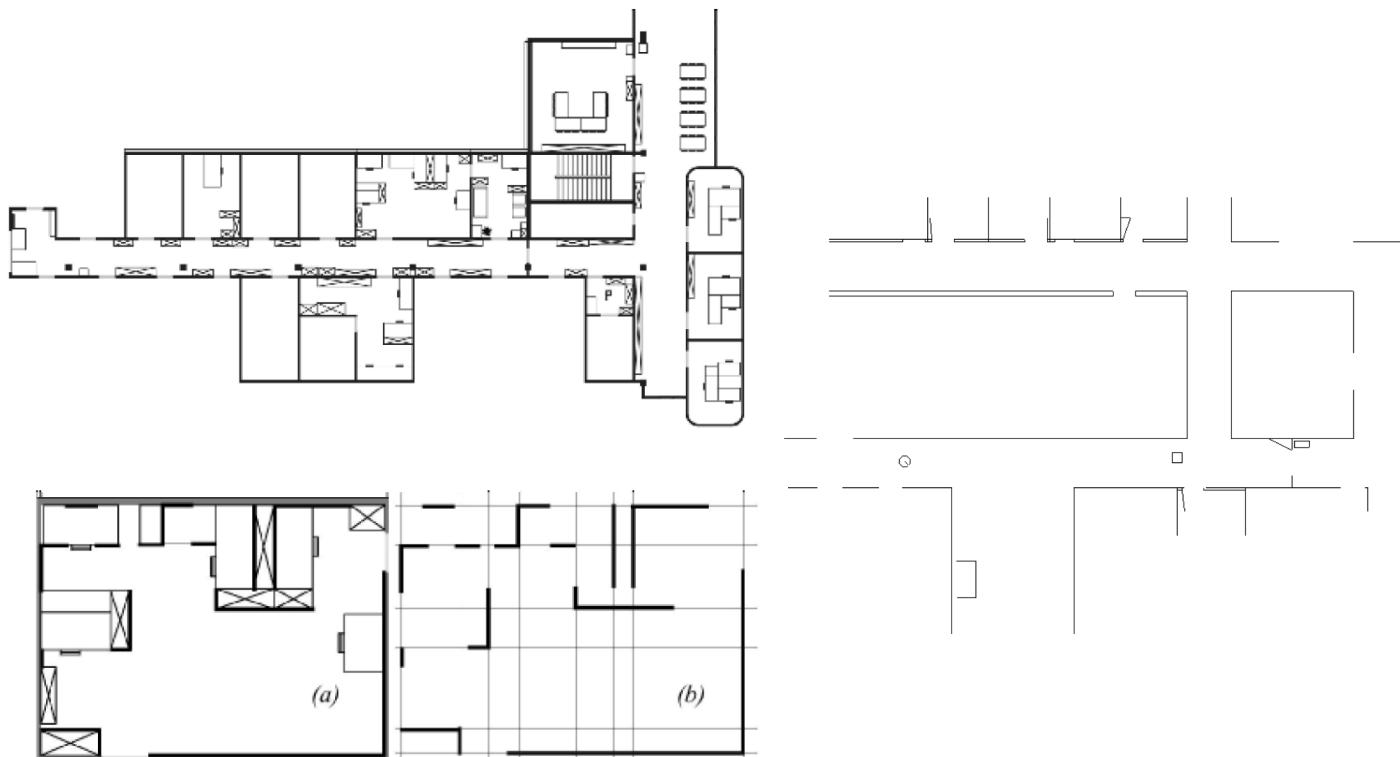


- No es necesario saber la ubicación del robot dentro de las celdas, por lo que es una representación muy inexacta.
- Útil para conocer el camino (conectividad) entre distintas celdas de forma eficiente
- Puede ser costosa computacionalmente de construir

Representación geométrica

- Hacen uso de primitivas geométricas, puntos, líneas, polígonos, etc. almacenando sus coordenadas
- No necesitan tanta memoria para representar el mismo mapa
- Al trabajar con coordenadas permiten aplicar transformaciones sobre ellas (rotaciones, traslaciones, cálculo de intersecciones, etc.)
- Sin embargo, existen ciertas características de los objetos que no pueden ser representadas exactamente con este modelo, sino mediante una simplificación (sillas, papeleras, columnas, etc.)

Ejemplo de representación geométrica



Representación geométrica

- Ventajas:
 - Alto nivel de precisión y gran expresividad con respecto al entorno y la posición del robot en el mismo.
- Desventajas:
 - Computacionalmente costoso de calcular y de utilizar.

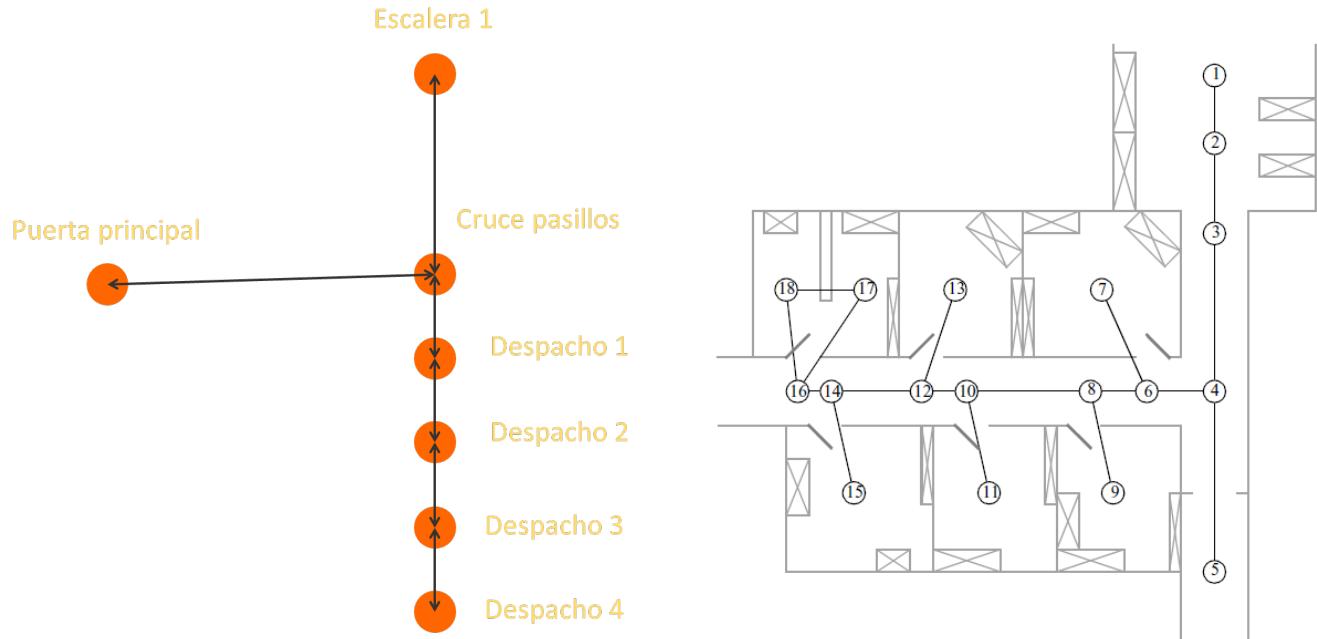
Representación topológica

- Al contrario que las dos anteriores representaciones, no utiliza datos métricos: los datos métricos pueden ser fuente de error debido a los sensores
- Es una representación más cercana a la humana: sigue el pasillo hasta que encuentres un cruce, gira a la derecha y es la tercera puerta a la izquierda

Representación en forma de grafo

- Este tipo de representación realiza una abstracción del entorno en forma de grafo
- Los vértices del grafo son lugares distintivos del entorno: puertas, cruces de pasillo, columnas, etc.
- Las aristas del grafo indican conectividad entre los vértices: la puerta 2 se encuentra a la derecha del cruce
- Es necesario identificar cada nodo, además es necesario saber cuando se sale de un nodo para entrar en otro distinto.
 - Utilización de marcadores visuales
- Mapa de marcadores visuales es una variante de la representación en forma de grafo
 - Registro e identificación de características visuales en la escena

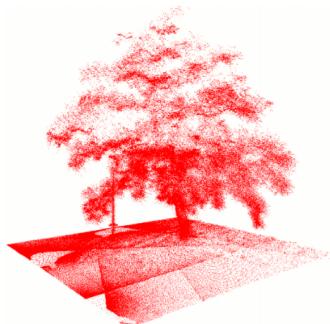
Ejemplo de representación topológica



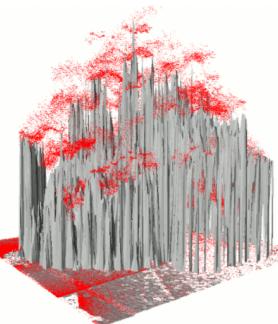
Mapas 3D

¿Se os ocurre cómo se puede representar un mapa en 3D?

Nubes de puntos

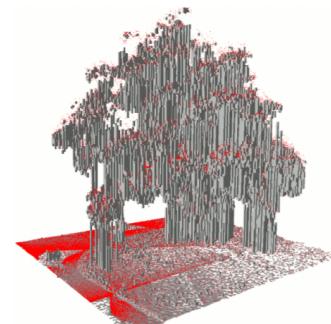


Mapas de altura



Mapas Multi-nivel

Mapas volumétricos
(GPU-voxels)
(Octomaps)



Retos actuales

- El mundo real es dinámico, obstáculos móviles.
- Espacios abiertos muy grandes
- Fusión de información
 - Representación mapa compatible con datos capturados por distintos sensores.

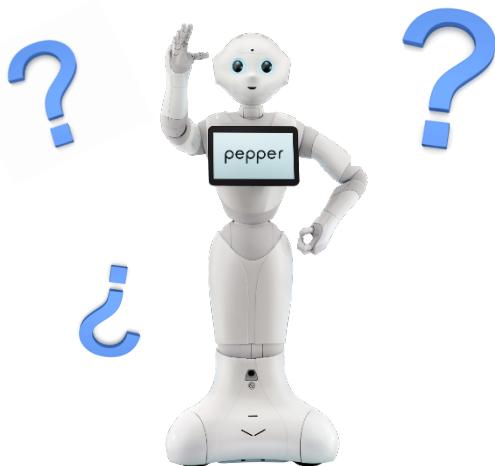
Bibliografía

Teoría

- Chapter 3 & 5. Introduction to Autonomous Mobile robots. Roland Siegwart and Illah R. Nourbakhsh. A Bradford Book.
- Chapter 3. Computational Principles of Mobile Robotics. Gregory Dudek.

Robots Móviles

Modelos de movimiento y representación de mapas



Sergio Orts Escolano
Otto Colomina Pardo

