

# Introducción a Robótica

Eduardo Morales, Enrique Sucar

INAOE

# Contenido

- 1 Introducción
- 2 Arquitecturas
- 3 Percepción
- 4 Mapas
- 5 Localización
- 6 Cinemática
- 7 Planeación de Trayectorias
- 8 SLAM

# Qué es un robot?

- “manipulador programable y multifuncional diseñado para mover materiales, partes, herramientas o dispositivos específicos mediante movimientos programados para realizar diferentes tareas”[Instituto de Robótica de América]
- “agente activo artificial cuyo ambiente es el mundo físico”[Russell y Norvig]
- “conexión inteligente de percepción a acción”[Jones y Flynn]
- “una máquina programable capaz de percibir y actuar en el mundo con cierta autonomía”[Sucar]

# Tipos de robots

- Manipuladores
- Móviles / móviles manipuladores
- Vehículos autónomos
- Aéreos / drones
- Submarinos / acuáticos
- Humanoides
- Cuadrúpedos / hexápodos / ...

# Ejemplos de robots

Introducción a  
Robótica

Eduardo  
Morales,  
Enrique Sucar

Introducción

Arquitecturas

Percepción

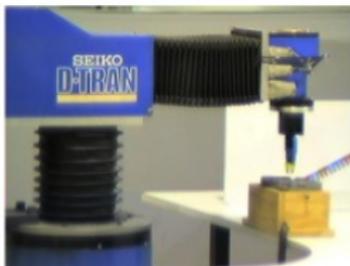
Mapas

Localización

Cinemática

Planeación de  
Trayectorias

SLAM



# Ejemplos de aplicaciones

Introducción a  
Robótica

Eduardo  
Morales,  
Enrique Sucar

Introducción

Arquitecturas

Percepción

Mapas

Localización

Cinemática

Planeación de  
Trayectorias

SLAM



# Partes de un robot

- Sensores
- Actuadores
- Potencia
- Control
- Sistema operativo
- Comunicación
- Inteligencia

# Actuadores

Introducción a  
Robótica

Eduardo  
Morales,  
Enrique Sucar

Introducción

Arquitecturas

Percepción

Mapas

Localización

Cinemática

Planeación de  
Trayectorias

SLAM

- Dispositivos que permiten al robot modificar el medio ambiente. Dos tipos principales:
  - Locomoción: cambiar la posición del robot respecto al medio ambiente (ruedas, patas, hélices, ...)
  - Manipulación: tomar y mover objetos en el medio ambiente (brazos y manos robóticas)

# Sensores

- Dispositivos que permiten al robot percibir el medio ambiente y su estado interno. Principales tipos:
  - Odometría (móviles) y codificadores de uniones (manipuladores)
  - Fuerza (bumpers) y táctiles
  - Ultrasonido (sonares)
  - Visión (cámaras, cámaras estéreo)
  - Telémetros láser
  - Profundidad (Kinect)
  - Brújulas
  - Fotoreceptores (infrarrojos)
  - ...

# Ejemplos de sensores

Introducción a  
Robótica

Eduardo  
Morales,  
Enrique Sucar

Introducción

Arquitecturas

Percepción

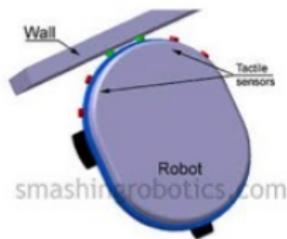
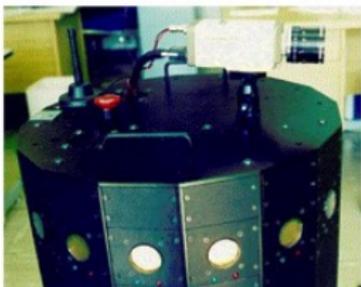
Mapas

Localización

Cinemática

Planeación de  
Trayectorias

SLAM



# Potencia

- Sistema que proporcionan la energía eléctrica para la operación de las diferentes partes: electrónica, motores, sensores, etc.
- Los robots manipuladores se pueden alimentar de las líneas eléctricas (fijos)
- Los robots móviles normalmente se alimentan de baterías

# Control

- Provee la interfaz entre el sistema de procesamiento (software) del robot y sus sensores y actuadores
- Normalmente se realiza mediante una combinación de hardware y software
- Provee una serie de comandos (subrutinas) para los programas de alto nivel del robot (inteligencia) que le proporcionan acceso al hardware y realizan operaciones básicas sobre los sensores y actuadores

# Sistema Operativo

- La tendencia actual al ser cada vez los robots más complejos en su software, es incorporar un sistema operativo que administre los recursos y facilite la comunicación entre procesos
- El estándar de facto es ROS – Robot Operating System
- ROS establece un esquema distribuido y la forma de comunicarse entre los procesos

# Comunicación

- En diversas aplicaciones es necesario que el robot se comunique con otros agentes. Tipos de comunicación:
  - Telecontrol – programación y control a distancia
  - Cooperación: comunicación con otros robots y otras máquinas para realizar tareas conjuntas
  - Interacción humano-robot: comunicación con personas para recibir comandos o dar información

# Inteligencia

- Software que provee las capacidades al robot de percibir, analizar, planear e interactuar con su ambiente y otros agentes. Algunas de las capacidades de un robot (de servicio):
  - 1 Percepción – Integrar e interpretar la información de sus sensores
  - 2 Navegación – desplazarse en el ambiente, evitar obstáculos
  - 3 Planeación – decidir la serie de pasos para cumplir una o más metas
  - 4 Mapeo – construir un modelo de su ambiente (SLAM)
  - 5 Localización – ubicarse en su ambiente
  - 6 Manipulación – tomar y mover objetos
  - 7 Reconocimiento – reconocer lugares y objetos
  - 8 Comunicación – comunicarse con personas en forma natural (voz, LN, ademanes)

# Arquitecturas de Software

Introducción a  
Robótica

Eduardo  
Morales,  
Enrique Sucar

Introducción

Arquitecturas

Percepción

Mapas

Localización

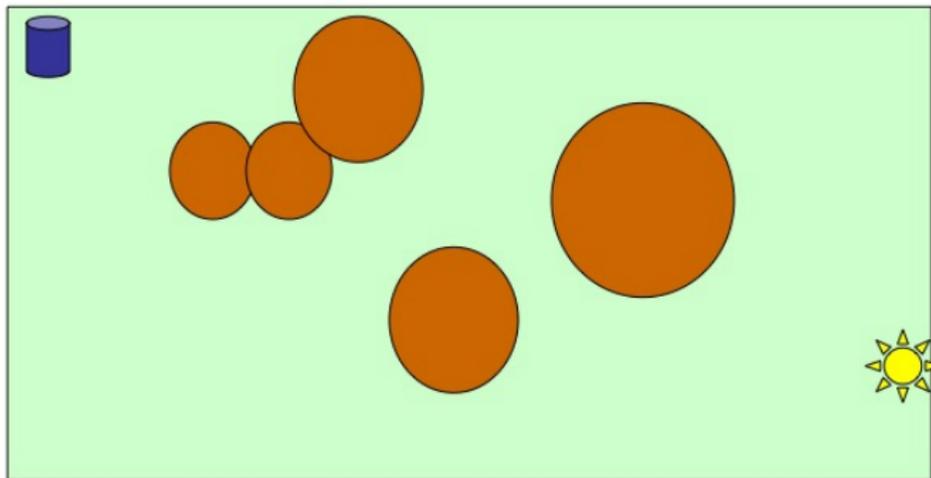
Cinemática

Planeación de  
Trayectorias

SLAM

- “organización de la generación de acciones a partir de las percepciones del robot”
- “arreglo de módulos de software para un robot”
- Principales tipos:
  - 1 Arquitecturas deliberativas
  - 2 Arquitecturas reactivas
  - 3 Arquitecturas híbridas

# Ejemplo: Ir a la meta (luz) evitando los obstáculos



# Arquitectura deliberativa

Introducción a  
Robótica

Eduardo  
Morales,  
Enrique Sucar

Introducción

Arquitecturas

Percepción

Mapas

Localización

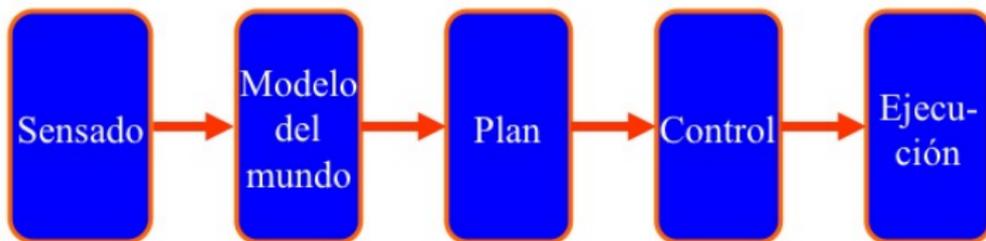
Cinemática

Planeación de  
Trayectorias

SLAM

- Basada en el paradigma de sensa-planea-actua (SPA):
  - 1 Se tiene un modelo completo (mapa) del ambiente
  - 2 Se construye un plan de acción para realizar la tarea basado en el modelo
  - 3 Se ejecuta el plan

# Arquitectura deliberativa



Introducción a  
Robótica

Eduardo  
Morales,  
Enrique Sucar

Introducción

Arquitecturas

Percepción

Mapas

Localización

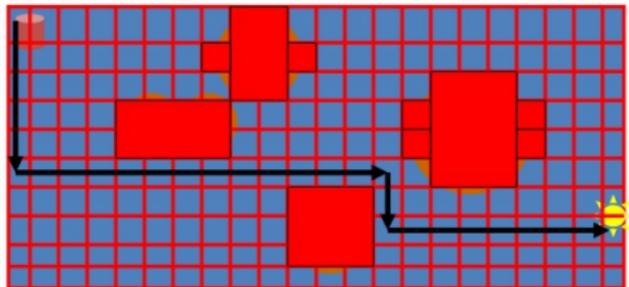
Cinemática

Planeación de  
Trayectorias

SLAM

## Ejemplo: plan en un mapa de rejilla

- Construir mapa del ambiente, incluyendo obstáculos y meta
- Generar un plan para ir de la posición inicial a la meta evitando los obstáculos
- Ejecutar el plan



# Arq. deliberativa – análisis

Introducción a  
Robótica

Eduardo  
Morales,  
Enrique Sucar

Introducción

Arquitecturas

Percepción

Mapas

Localización

Cinemática

Planeación de  
Trayectorias

SLAM

- **Ventajas:** El tener un modelo del ambiente permite optimizar las acciones para obtener el mejor plan
- **Limitaciones:**
  - Necesidad de un modelo preciso del ambiente
  - Altos requerimientos de cómputo y memoria
  - Dificultad de operar en un mundo dinámico o desconocido
  - Reacción lenta a situaciones imprevistas

# Arquitectura Reactiva

Introducción a  
Robótica

Eduardo  
Morales,  
Enrique Sucar

Introducción

Arquitecturas

Percepción

Mapas

Localización

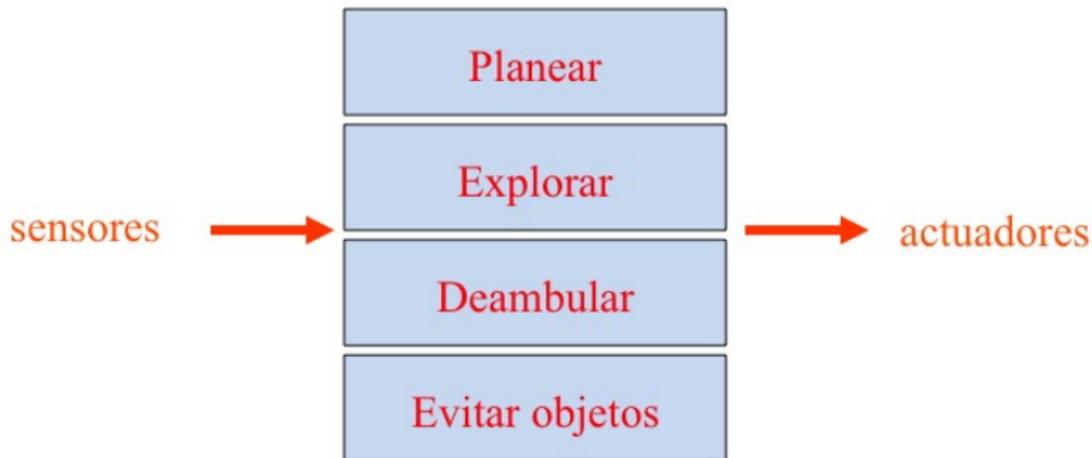
Cinemática

Planeación de  
Trayectorias

SLAM

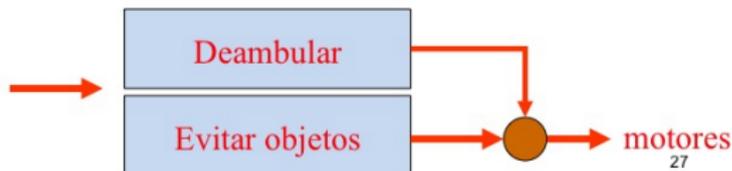
- En el enfoque reactivo hay una conexión directa de percepción a acción sin necesidad de un modelo del mundo
- Normalmente se considera una serie de niveles de comportamiento que realizan diferentes comportamientos en forma paralela (*subsumption architecture*)

# Arquitectura reactiva basada en Comportamiento



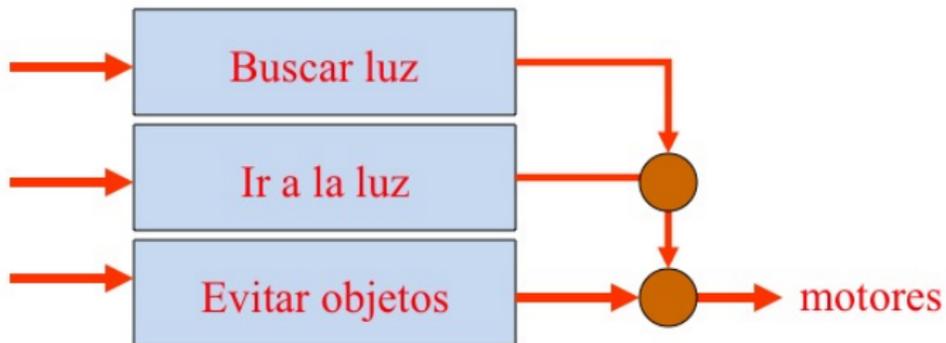
# Manejo de conflictos

- Al existir varios módulos en paralelo pueden existir conflictos, que se resuelven dando prioridades a los diferentes comportamientos
- El comportamiento de mayor prioridad “suprime” los otros comportamientos



27

# Ejemplo: enfoque reactivo



# Arq. reactiva - análisis

Introducción a  
Robótica

Eduardo  
Morales,  
Enrique Sucar

Introducción

Arquitecturas

Percepción

Mapas

Localización

Cinemática

Planeación de  
Trayectorias

SLAM

- Ventajas:
  - Bajo requerimiento de cómputo, respuesta rápida
  - Facilidad de desarrollo modular
  - No requiere un modelo del mundo
- Limitaciones:
  - Difícil de extender a tareas complejas
  - Limitaciones sensoriales pueden ocasionar problemas al no contar con un modelo
  - No garantiza la mejor solución

# Arquitecturas Híbridas

Introducción a  
Robótica

Eduardo  
Morales,  
Enrique Sucar

Introducción

Arquitecturas

Percepción

Mapas

Localización

Cinemática

Planeación de  
Trayectorias

SLAM

- Combinación de arquitecturas deliberativas y reactivas que intentan aprovechar ventajas de ambas:
  - Arquitecturas jerárquicas (capas)
  - Arquitecturas de pizarrón (blackboard)
  - Arquitecturas probabilísticas

# Arquitectura de Capas

Introducción a  
Robótica

Eduardo  
Morales,  
Enrique Sucar

Introducción

Arquitecturas

Percepción

Mapas

Localización

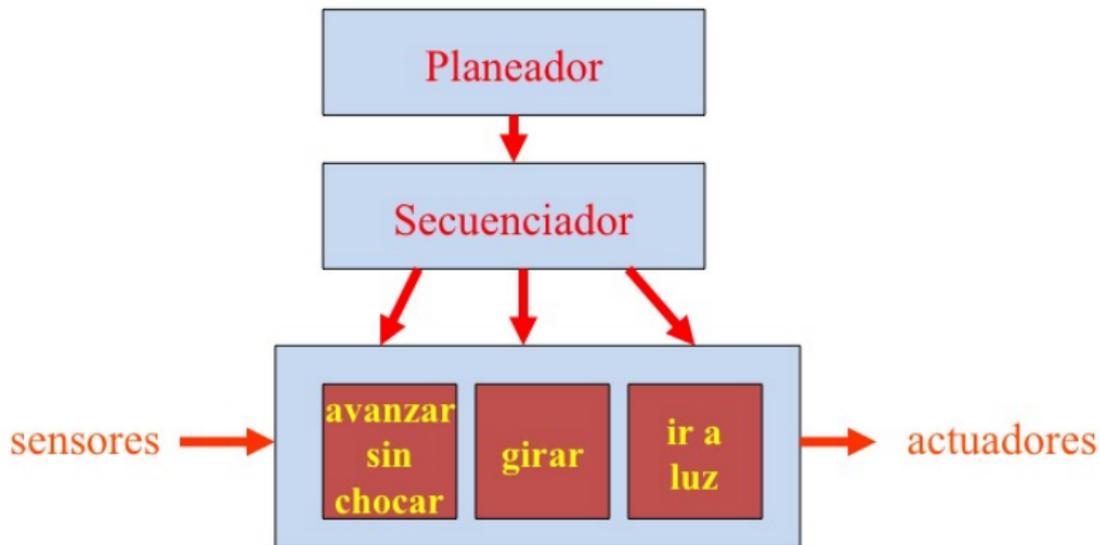
Cinemática

Planeación de  
Trayectorias

SLAM

- Tres componentes básicos:
  - ➊ Capa de habilidades: Mecanismo de control reactivo (controlador)
  - ➋ Capa de secuenciación: Mecanismo de ejecución de plan (secuenciador)
  - ➌ Capa de planeación: Mecanismo deliberativo (planeador)
- El secuenciador selecciona los mecanismos básicos de la capa de habilidades en base al plan de la capa de planeación

# Ejemplo en Arquitectura de Capas



# Arquitectura de Pizarrón

Introducción a  
Robótica

Eduardo  
Morales,  
Enrique Sucar

Introducción

Arquitecturas

Percepción

Mapas

Localización

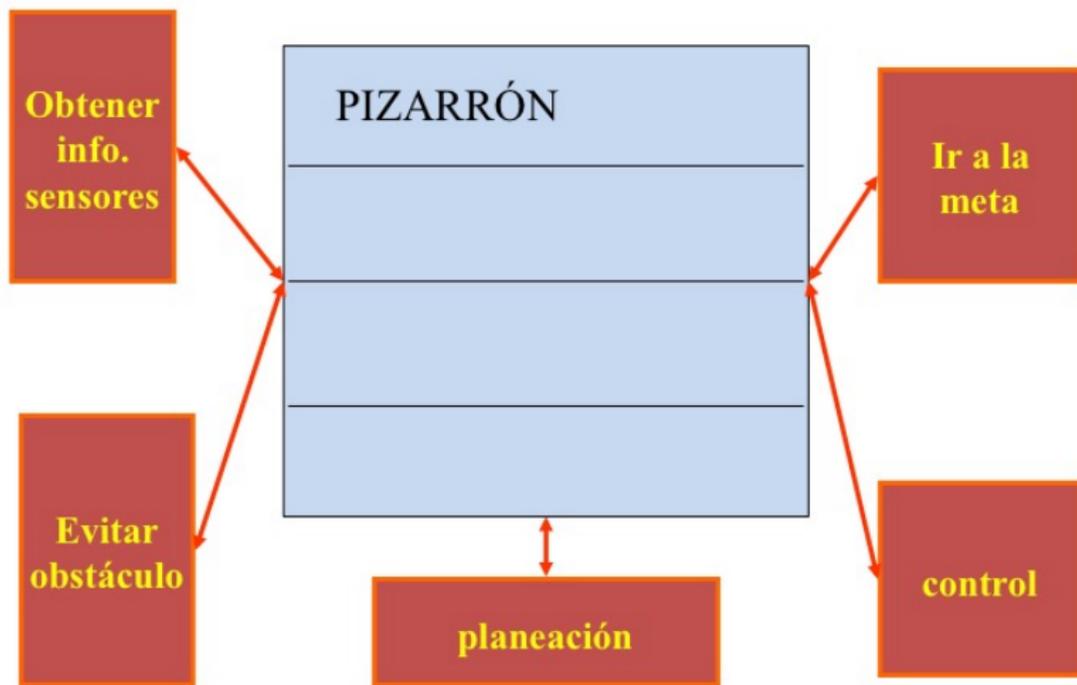
Cinemática

Planeación de  
Trayectorias

SLAM

- Conjunto de módulos o procesos que interactúan mediante un espacio de información común llamado pizarrón (blackboard)
- Cada módulo implemente una función específica y en conjunto todos realizan la tarea
- Todos los módulos pueden ver la información en el pizarrón y actúan en forma oportunística de acuerdo al que más pueda aportar en ese momento (coordinador)

# Ejemplo en Arquitectura de Pizarrón



# Arquitectura Probabilística

Introducción a  
Robótica

Eduardo  
Morales,  
Enrique Sucar

Introducción

Arquitecturas

Percepción

Mapas

Localización

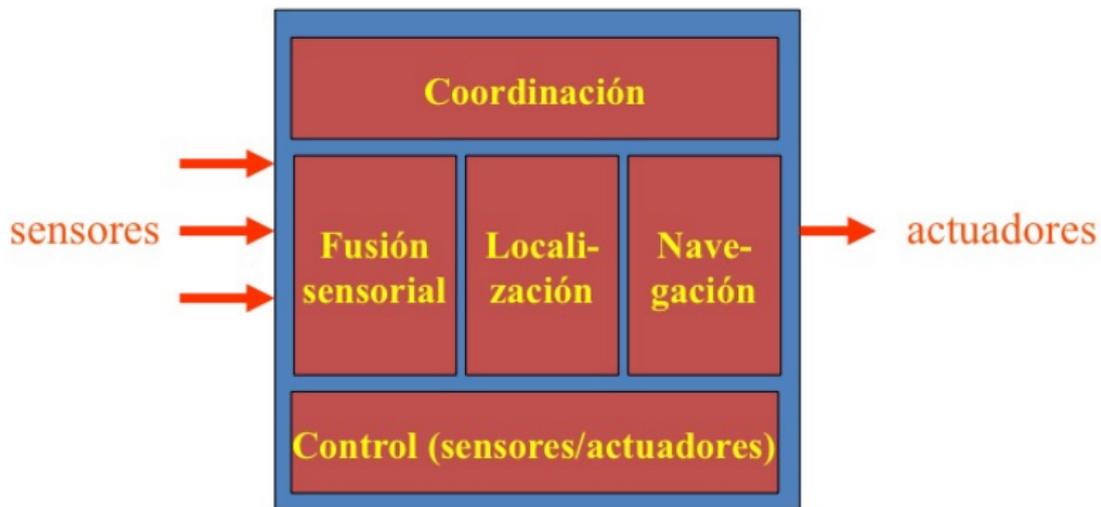
Cinemática

Planeación de  
Trayectorias

SLAM

- Consideran la incertidumbre inherente en el mundo real, tanto en la información de los sensores como en la ejecución de los actuadores
- Representan en forma explícita dicha incertidumbre mediante distribuciones de probabilidad:
  - Modelado e integración probabilística de sensores
  - Mapas probabilísticos
  - Acciones basadas en teoría de decisiones

# Ejemplo basado en Arquitectura Probabilística



# Percepción del Ambiente

Introducción a  
Robótica

Eduardo  
Morales,  
Enrique Sucar

Introducción

Arquitecturas

Percepción

Mapas

Localización

Cinemática

Planeación de  
Trayectorias

SLAM

- Los sensores permiten al robot percibir su medio ambiente y su estado interno
- Dos tipos básicos: (i) Sensores de estado interno, (ii) Sensores de estado externo
- Desde otro punto de vista se pueden clasificar en: (i) Activos: emiten energía o modifican el ambiente, (ii) Pasivos: reciben energía pasivamente

# Modelo del Sensor

Introducción a  
Robótica

Eduardo  
Morales,  
Enrique Sucar

Introducción

Arquitecturas

Percepción

Mapas

Localización

Cinemática

Planeación de  
Trayectorias

SLAM

- El modelo de un sensor provee una relación matemática entre la propiedad de interés ( $e$ ) y la lectura del sensor ( $r$ ):  $r = f(e)$
- El modelo debe incluir la relación del dispositivo físico y el ruido debido al sensor mismo (interno) y al medio ambiente (externo)
- El modelo puede ser determinista o probabilista

# Ejemplos de modelos de sensor

Introducción a  
Robótica

Eduardo  
Morales,  
Enrique Sucar

Introducción

Arquitecturas

Percepción

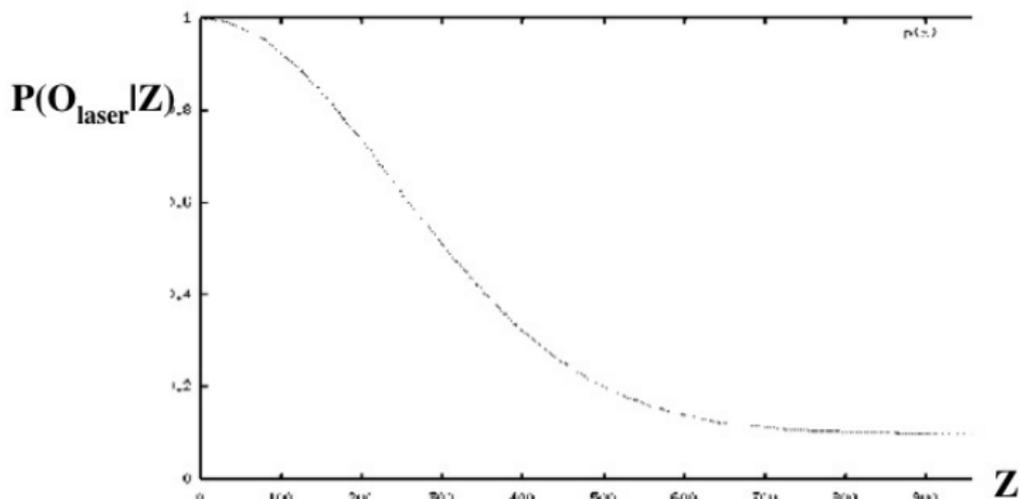
Mapas

Localización

Cinemática

Planeación de  
Trayectorias

SLAM



# Fusión sensorial

Introducción a  
Robótica

Eduardo  
Morales,  
Enrique Sucar

Introducción

Arquitecturas

Percepción

Mapas

Localización

Cinemática

Planeación de  
Trayectorias

SLAM

- Una forma de reducir la incertidumbre es combinando varios sensores, ya sea del mismo tipo o de diferente tipo mediante fusión sensorial
- La forma más sencilla de combinar varios sensores es simplemente tomar el promedio de las mediciones
- Existen técnicas más sofisticadas de fusión como los filtros bayesianos y el filtro de Kalman
- 3 diferentes formas de fusión sensorial en robótica: (i) Diferentes sensores, (ii) Diferentes posiciones, (iii) Diferentes tiempos

# Filtro de Kalman

Introducción a  
Robótica

Eduardo  
Morales,  
Enrique Sucar

Introducción

Arquitecturas

Percepción

Mapas

Localización

Cinemática

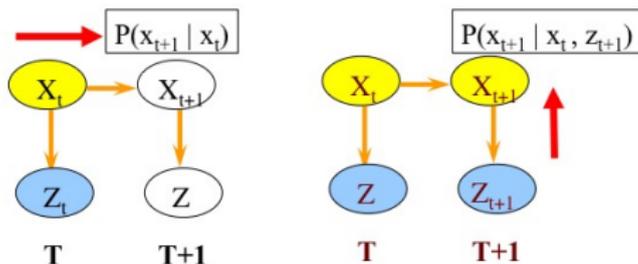
Planeación de  
Trayectorias

SLAM

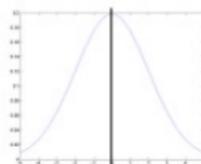
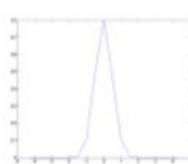
- Una forma de fusión sensorial a diferentes tiempos
- Asume que las variables de estado ( $X$ ) y observaciones ( $Z$ ) tienen una distribución gaussiana
- Las funciones de transición y observación son lineales:  
$$x_{t+1} = Ax_t + Gw_t; z_t = Cx_t + v_t$$
- Donde  $A$ ,  $C$ ,  $G$  son constantes, y  $w_t$ ,  $v_t$  son los términos que representan el ruido

# Filtro de Kalman Inferencia

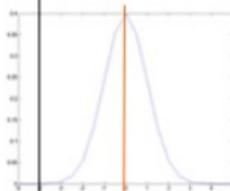
- Es un algoritmo recursivo que estima el estado siguiente en base al anterior (predicción) y luego lo actualiza incluyendo la observación
- Predicción:  $P(x_{t+1} | x_t)$
- Observación  $P(x_{t+1} | x_t, z_{t+1})$



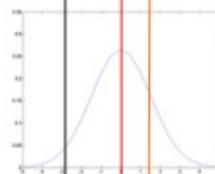
# Filtro de Kalman: Localización



Distr. inicial.



Obs.



nueva distr.

# Modelado del Ambiente

Introducción a  
Robótica

Eduardo  
Morales,  
Enrique Sucar

Introducción

Arquitecturas

Percepción

Mapas

Localización

Cinemática

Planeación de  
Trayectorias

SLAM

- Los robots móviles requieren de una representación del ambiente para moverse y localizarse.
- Generalmente se representa el espacio libre y el espacio ocupado (obstáculos) mediante una representación geométrica: un mapa
- Tipos de mapas:
  - Mapas métricos
  - Mapas topológicos
  - Mapas semánticos

# Mapas Métricos

Introducción a  
Robótica

Eduardo  
Morales,  
Enrique Sucar

Introducción

Arquitecturas

Percepción

Mapas

Localización

Cinemática

Planeación de  
Trayectorias

SLAM

- Se representa el espacio libre y/o obstáculos mediante medidas espaciales: (i) descomposición espacial (rejillas), (ii) primitivas geométricas
- Descomposición espacial: Se representa el espacio libre / obstáculos mediante una discretización en un conjunto de celdas, por medio de una rejilla de ocupación espacial (occupancy grids)
- Tipos de rejillas: binarias (bitmap) o probabilísticas / uniformes o jerárquicas





# Mapas Topológicos

Introducción a  
Robótica

Eduardo  
Morales,  
Enrique Sucar

Introducción

Arquitecturas

Percepción

Mapas

Localización

Cinemática

Planeación de  
Trayectorias

SLAM

- Se considera el ambiente como una serie de lugares y conexiones entre dichos lugares
- Esto se puede considerar como un grafo – Nodos: lugares; Arcos: conexiones
- Se le puede incorporar información métrica al grafo: longitud y orientación de los arcos

# Mapa topológico

Introducción a  
Robótica

Eduardo  
Morales,  
Enrique Sucar

Introducción

Arquitecturas

Percepción

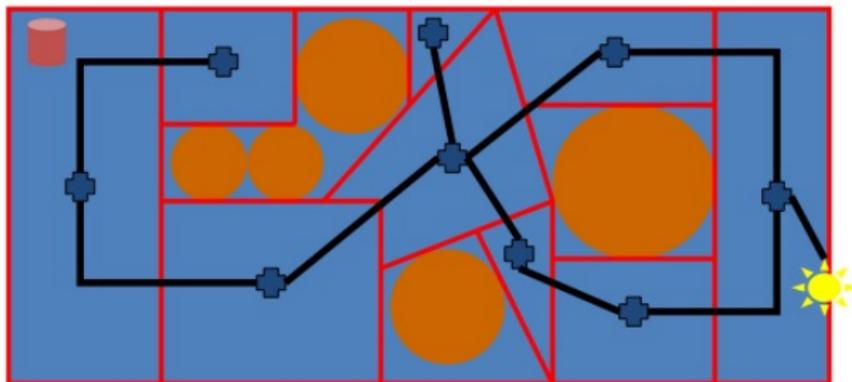
Mapas

Localización

Cinemática

Planeación de  
Trayectorias

SLAM



# Mapas semánticos

Introducción a  
Robótica

Eduardo  
Morales,  
Enrique Sucar

Introducción

Arquitecturas

Percepción

Mapas

Localización

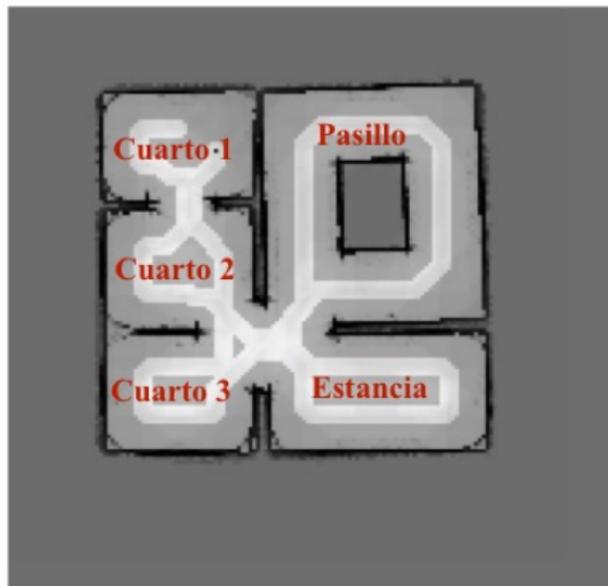
Cinemática

Planeación de  
Trayectorias

SLAM

- Se tiene asociado a un mapa una cierta semántica para los diferentes espacios/objetos en el mapa
- Esto permite una comunicación más natural con el robot en forma análoga a la comunicación entre personas (ve al a la cocina, trame las llaves del cuarto de María, ...)
- Dicha semántica se la puede dar el usuario (por ejemplo guiando al robot en la casa) o aprenderla el robot (por ejemplo al reconocer cierto tipo de objetos)

# Mapa semántico



Introducción a  
Robótica

Eduardo  
Morales,  
Enrique Sucar

Introducción

Arquitecturas

Percepción

Mapas

Localización

Cinemática

Planeación de  
Trayectorias

SLAM

# Localización

Introducción a  
Robótica

Eduardo  
Morales,  
Enrique Sucar

Introducción

Arquitecturas

Percepción

Mapas

Localización

Cinemática

Planeación de  
Trayectorias

SLAM

- El que un robot pueda ubicarse en su ambiente es esencial para otras tareas, como navegar, planear a donde ir, construir mapas, etc.
- Hay dos tipos principales de localización:
  - ➊ Local (seguimiento): dada una posición conocida del robot, mantener su localización en el mapa
  - ➋ Global: encontrar la posición sin conocimiento previo (o con conocimiento erróneo – “kidnapped robot”)

# Local

- Normalmente se estima la posición integrando los movimientos (traslación y rotación) desde una posición conocida – *odometría*
- La odometría genera errores (patinan las llantas, irregularidades en el piso, ...) que son acumulativos – al poco tiempo el robot se pierde!
- Por ello se necesita información externa del ambiente para ir corrigiendo la posición (reduciendo el error) – “marcas” naturales obtenidas con diferentes sensores como láser o visión, objetos en el ambiente, etc.

# Marcas naturales

Introducción a  
Robótica

Eduardo  
Morales,  
Enrique Sucar

Introducción

Arquitecturas

Percepción

Mapas

Localización

Cinemática

Planeación de  
Trayectorias

SLAM

- Una alternativa para la localización local es detectar elementos distintivos en el ambiente obtenido con un sensor de profundidad como un láser: esquinas, puertas, paredes
- Se obtiene la posición en el mapa en una posición del robot  $(x, y)$  y después de un desplazamiento mínimo
- Por un proceso de triangulación se puede estimar cuánto se movió el robot y actualizar su posición
- Esto se repite cada vez que el robot se desplaza cierto intervalo de distancia o tiempo.

# Localización Global

Introducción a  
Robótica

Eduardo  
Morales,  
Enrique Sucar

Introducción

Arquitecturas

Percepción

Mapas

Localización

Cinemática

Planeación de  
Trayectorias

SLAM

- Consiste en determinar la posición del robot sin tener una referencia de su posición anterior
- Dada las lecturas de los sensores, normalmente hay varias posibles localizaciones para el robot, por lo que tiene que en ocasiones tiene que desplazarse para encontrar su posición real
- En forma análoga a la localización local se pueden utilizar marcas naturales en el ambiente

# Ejemplo de Localización Local

Introducción a  
Robótica

Eduardo  
Morales,  
Enrique Sucar

Introducción

Arquitecturas

Percepción

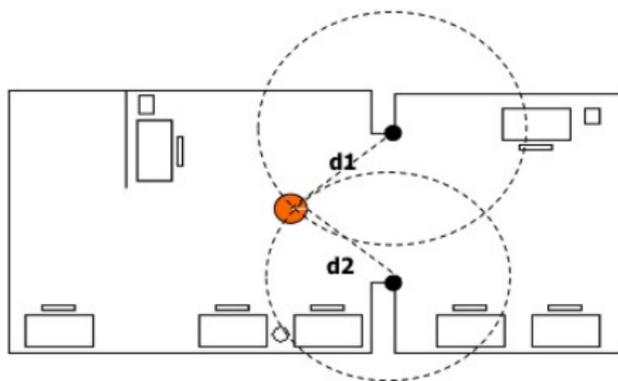
Mapas

Localización

Cinemática

Planeación de  
Trayectorias

SLAM



# Ejemplo de Localización Global

Introducción a  
Robótica

Eduardo  
Morales,  
Enrique Sucar

Introducción

Arquitecturas

Percepción

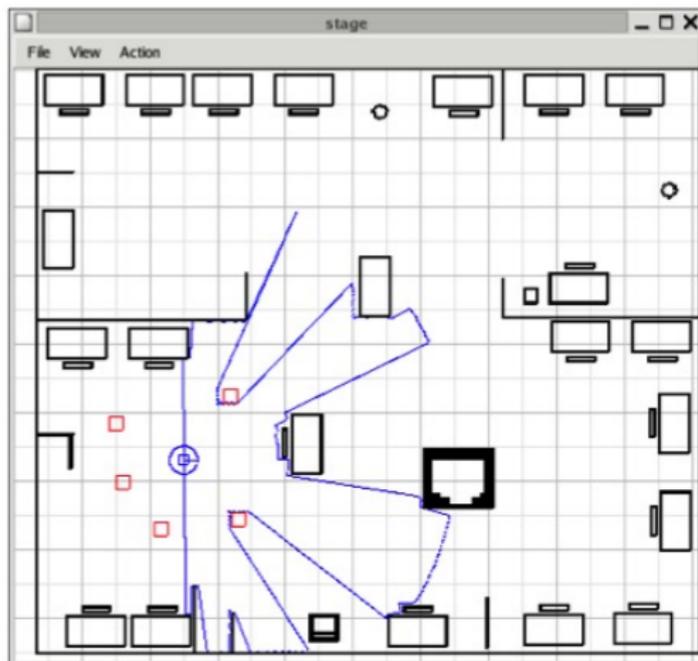
Mapas

Localización

Cinemática

Planeación de  
Trayectorias

SLAM



# Localización de Markov

Introducción a  
Robótica

Eduardo  
Morales,  
Enrique Sucar

Introducción

Arquitecturas

Percepción

Mapas

Localización

Cinemática

Planeación de  
Trayectorias

SLAM

- Bajo el enfoque probabilístico, el problema de localización global se puede resolver mediante el Filtro de Bayes (localización de Markov)
- El robot va alternando sensado/movimiento hasta poder determinar su ubicación
- Se puede implementar de diferentes formas:
  - Filtro de Kalman
  - Filtros de partículas
  - Filtro discreto

# Localización de Markov

Introducción a  
Robótica

Eduardo  
Morales,  
Enrique Sucar

Introducción

Arquitecturas

Percepción

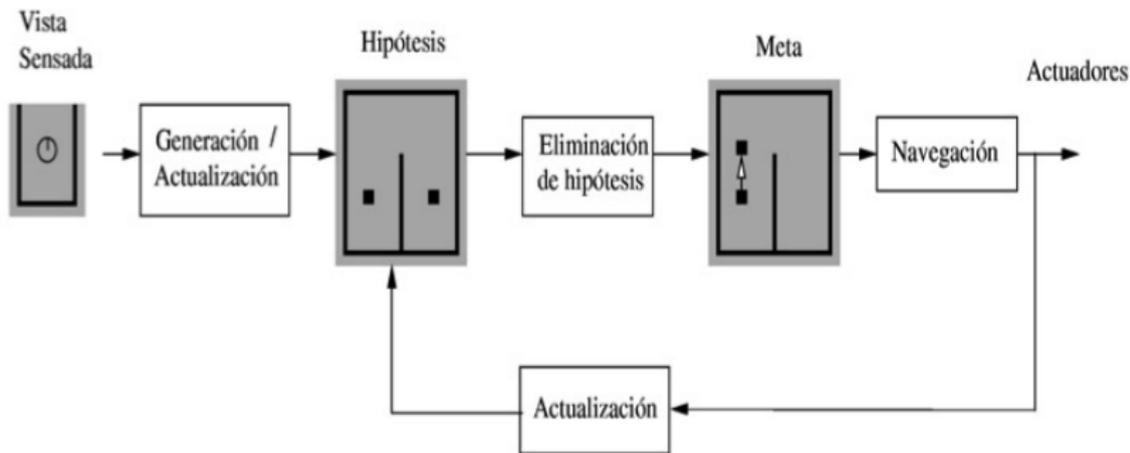
Mapas

Localización

Cinemática

Planeación de  
Trayectorias

SLAM



# Ejemplo de Localización de Markov – Local (Fox 98)

Introducción a Robótica

Eduardo Morales,  
Enrique Sucar

Introducción

Arquitecturas

Percepción

Mapas

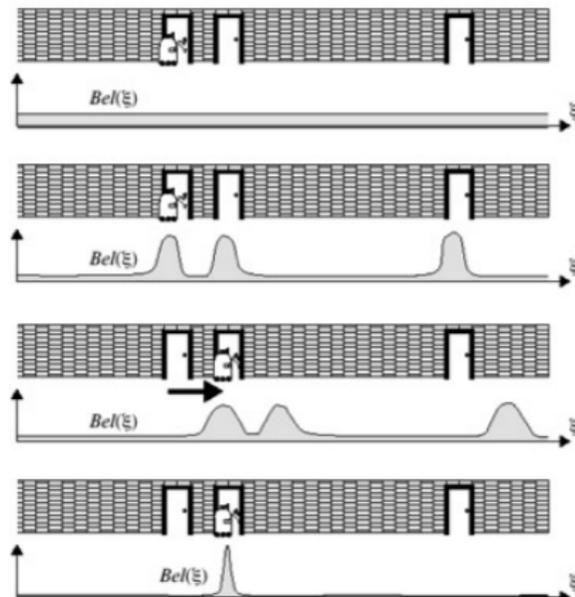
Localización

Cinemática

Planeación de Trayectorias

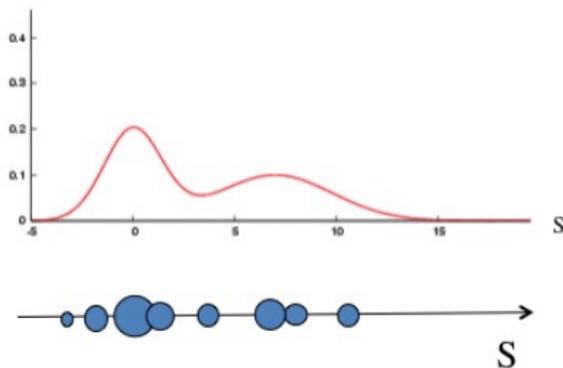
SLAM

- Sensado
- Predicción
- Sensado



# Ejemplo de Localización de Markov – Global (Fox 98)

- Filtro de partículas:
- $P(S_T | A_{1:T}, O_{0:T})$



# Cinemática

Introducción a  
Robótica

Eduardo  
Morales,  
Enrique Sucar

Introducción

Arquitecturas

Percepción

Mapas

Localización

Cinemática

Planeación de  
Trayectorias

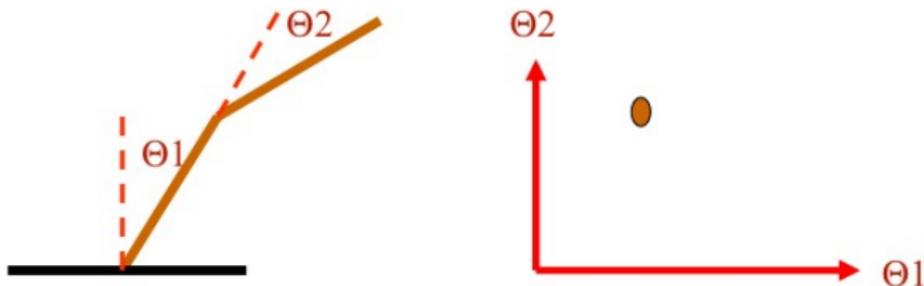
SLAM

- La cinemática se refiere a los efectos de las acciones de control en la configuración del robot
- La configuración es la posición y orientación de un cuerpo, en este caso un robot en el espacio
- Un esquema que simplifica la representación es el espacio de configuraciones

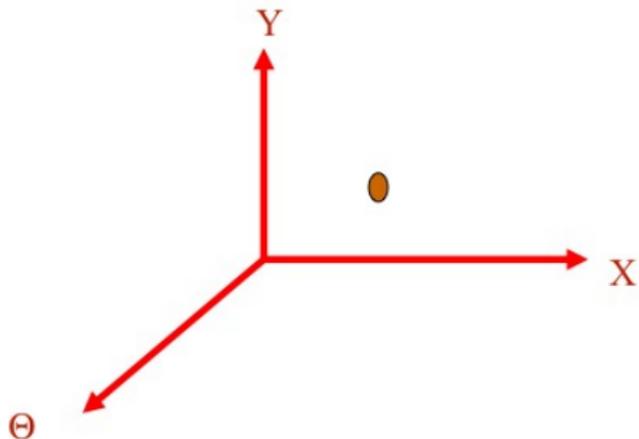
# Espacio de Configuraciones

- Grados de libertad: se refiere a los posibles movimientos de un robot
- Para manipuladores, cada articulación provee un grado de libertad (se requieren 6 para ubicar un objeto rígido en cualquier posición y orientación)
- Para robots móviles movimiento en el plano  $X$ ,  $Y$  y rotación
- La configuración de un robot se refiere a la posición de sus todas articulaciones que definen su estado en el espacio
- El espacio de configuraciones es el espacio  $n$ -dimensional donde se ubica cada grado de libertad del robot – el robot (organo terminal) se puede ver como un punto en este espacio

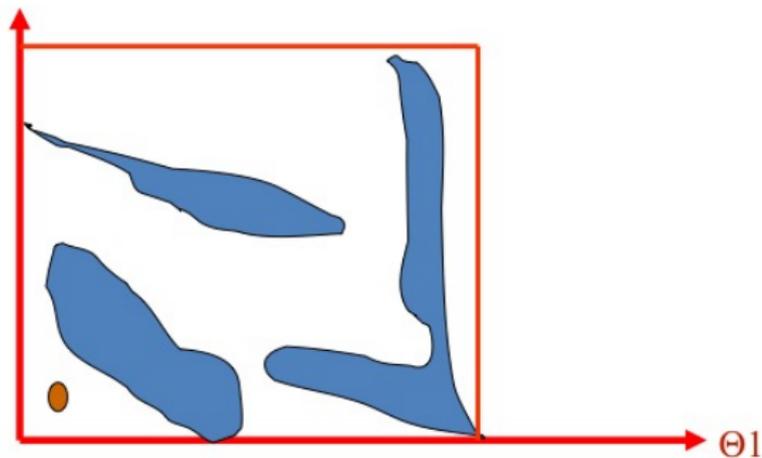
# Espacio de configuraciones - manipulador de dos grados de libertad



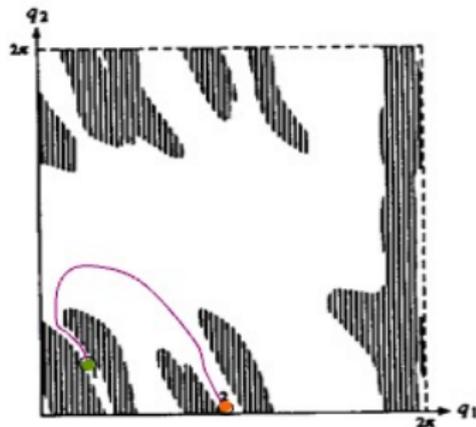
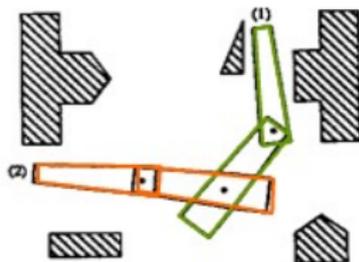
# Espacio de configuraciones - robot móvil



# Espacio de configuraciones: obstáculos y espacio libre



# Espacio de configuraciones: ejemplo de manipulador



# Planeación de Trayectorias

- Determinar una trayectoria en el espacio de configuraciones, entre una configuración inicial (inicio) y una configuración final (meta), de forma que el robot no colisione con los obstáculos y cumpla con las restricciones cinemáticas del robot
- La solución a este problema es un *plan*
- Existen diversas estrategias: búsqueda, programación dinámica, PRMs, RRTs, ...

# Plan

- Un plan es un conjunto de acciones (operadores) que permiten a un agente (robot) ir de un estado inicial a un estado final o meta
- Los elementos básicos para hacer un plan son:
  - Estados (posición del robot), incluyendo el estado inicial y el estado meta
  - Operadores: acciones que llevan de un estado a otro

# Ejemplo de plan

Introducción a  
Robótica

Eduardo  
Morales,  
Enrique Sucar

Introducción

Arquitecturas

Percepción

Mapas

Localización

Cinemática

Planeación de  
Trayectorias

SLAM

- Mapa de rejilla
- Estados:
  - posición  $X, Y$  en el mapa
  - Estado inicial:  $0, 0$
  - Estado meta (luz):  $X_m, Y_m$
- Acciones:
  - Movimiento a alguna de las celdas vecinas
  - $X + 1, Y + 1, X - 1, Y - 1$

# Programación Dinámica

Introducción a  
Robótica

Eduardo  
Morales,  
Enrique Sucar

Introducción

Arquitecturas

Percepción

Mapas

Localización

Cinemática

Planeación de  
Trayectorias

SLAM

- Procedimiento iterativo (recursivo) para evaluar el costo de la trayectoria mínima de cualquier punto a la meta
- Se considera un ambiente discreto y un costo de moverse de un sitio (celda) a otro
- Se pueden incorporar otros costos (por ejemplo costo de rotaciones para minimizar errores)
- La solución se obtiene propagando los valores a partir de la meta hacia atrás

# Ejemplo de programación dinámica

Introducción a  
Robótica

Eduardo  
Morales,  
Enrique Sucar

Introducción

Arquitecturas

Percepción

Mapas

Localización

Cinemática

Planeación de  
Trayectorias

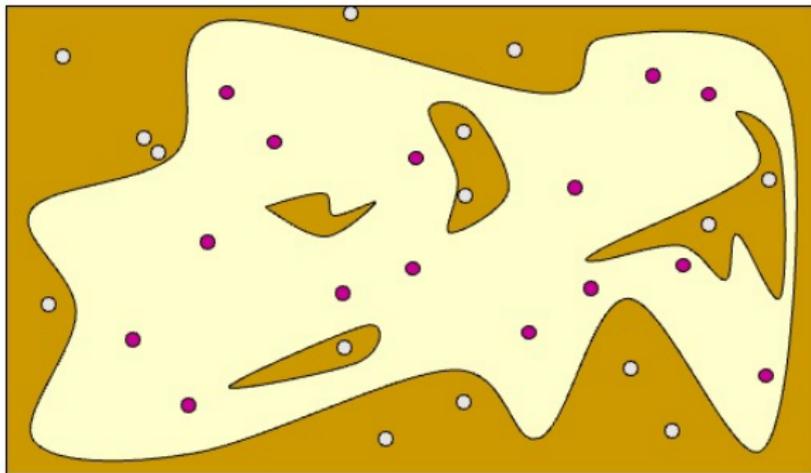
SLAM



# PRMs - mapas de rutas probabilísticos

- Se muestrea el espacio de configuraciones
- Se *conectan* puntos vecinos y se construye un grafo de *conectividad* del ambiente
- La trayectoria del inicio a la meta se obtiene mediante búsqueda en el grafo

# Ejemplo de PRM - muestreo



Introducción a  
Robótica

Eduardo  
Morales,  
Enrique Sucar

Introducción

Arquitecturas

Percepción

Mapas

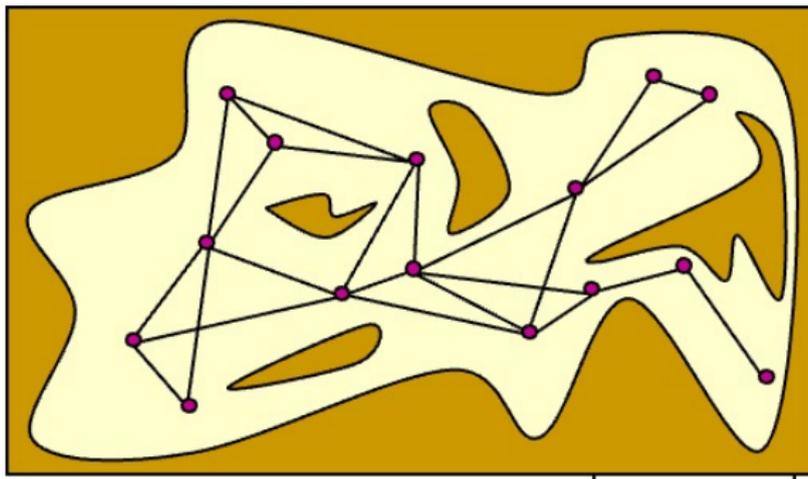
Localización

Cinemática

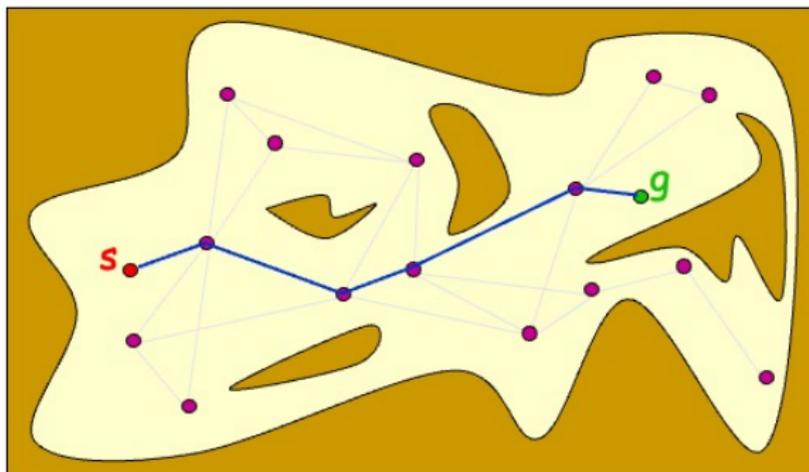
Planeación de  
Trayectorias

SLAM

# Ejemplo de PRM - construcción de grafo de conexiones



# Ejemplo de PRM - trayectoria



Introducción a  
Robótica

Eduardo  
Morales,  
Enrique Sucar

Introducción

Arquitecturas

Percepción

Mapas

Localización

Cinemática

Planeación de  
Trayectorias

SLAM

# RRTs - árboles aleatorios para búsqueda de trayectorias

- Se generan, a partir de la configuración inicial, diversas configuraciones que se van interconectando construyendo un árbol hasta alcanzar la configuración final o meta.
- La búsqueda se focaliza hacia las regiones de Voronoi más grandes del espacio de configuraciones, lo que da alguna manera garantiza explorar en forma eficiente todo el espacio.
- Una ventaja de esta estrategia es que se puede acoplar a los controles del robot.

## RRTs

Introducción a  
RobóticaEduardo  
Morales,  
Enrique Sucar

Introducción

Arquitecturas

Percepción

Mapas

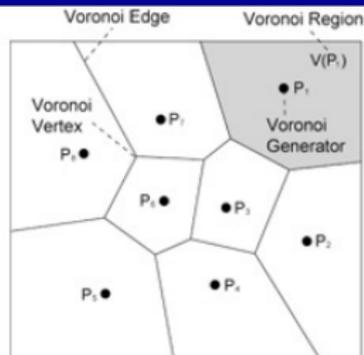
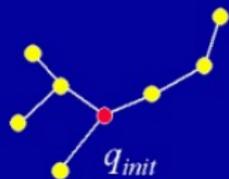
Localización

Cinemática

Planeación de  
Trayectorias

SLAM

Existing RRT is “grown” as follows...



# RRTs vs. RRTs óptimo

Introducción a  
Robótica

Eduardo  
Morales,  
Enrique Sucar

Introducción

Arquitecturas

Percepción

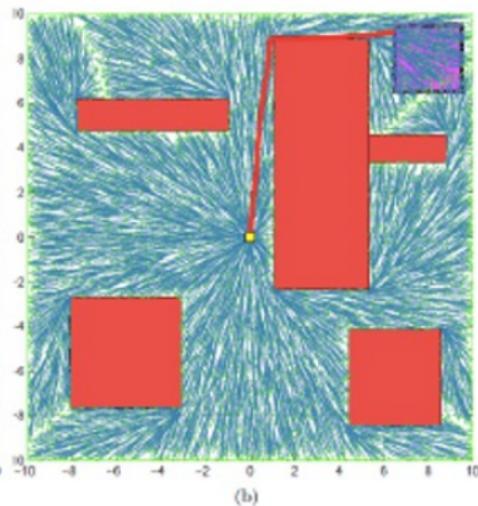
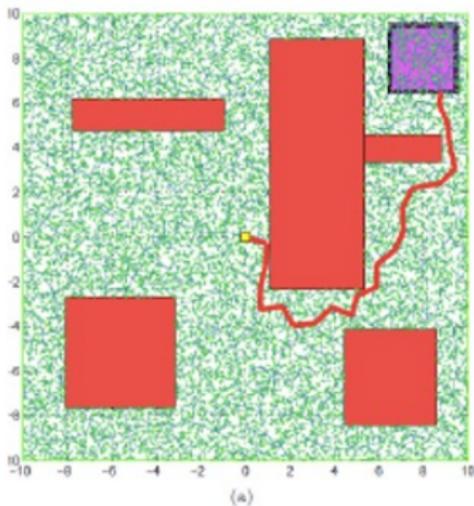
Mapas

Localización

Cinemática

Planeación de  
Trayectorias

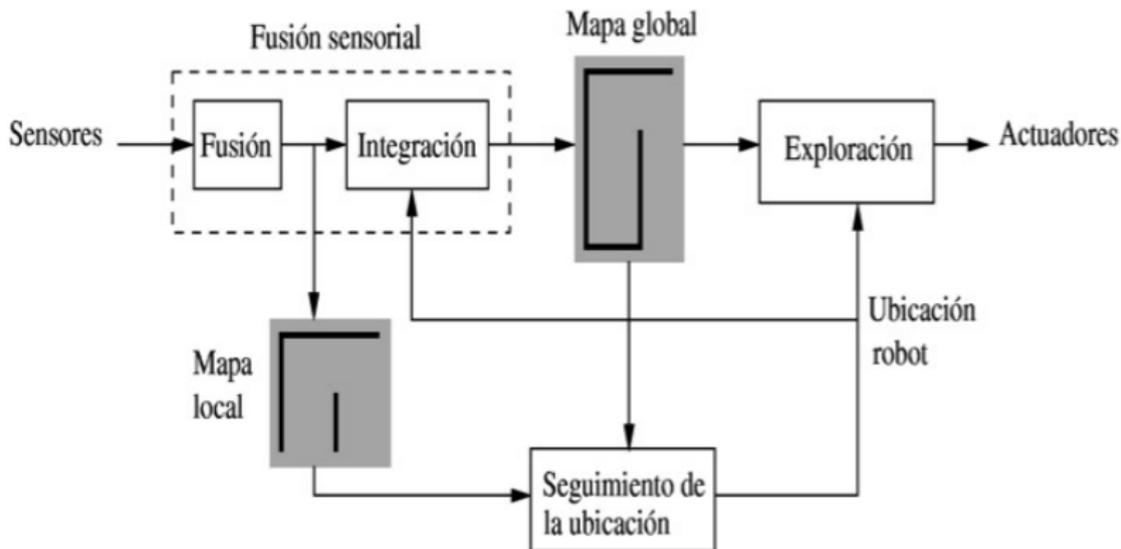
SLAM



# SLAM (Simultaneous Localization And Mapping)

- El problema de construcción de mapas por el mismo robot es uno de los problemas fundamentales en robótica
- Este involucra el resolver concurrentemente (simultáneamente) dos problemas:
  - Construir un mapa (espacio libre/ocupado) del ambiente
  - Localizarse en el mapa que se va construyendo
- Existen dos tipos de métodos: (i) basado en el filtro de Bayes (Kalman, EKF, ...), (ii) basados en optimización

# Esquema General de SLAM / Exploración



# Ejemplos de Mapas

Introducción a  
Robótica

Eduardo  
Morales,  
Enrique Sucar

Introducción

Arquitecturas

Percepción

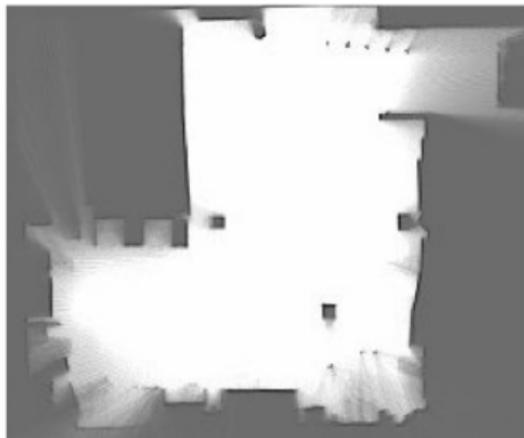
Mapas

Localización

Cinemática

Planeación de  
Trayectorias

SLAM



# SLAM Visual

Introducción a  
Robótica

Eduardo  
Morales,  
Enrique Sucar

Introducción

Arquitecturas

Percepción

Mapas

Localización

Cinemática

Planeación de  
Trayectorias

SLAM

- La tendencia actual es el uso de cámaras para SLAM y localización
- Existen algoritmos que incluso usan una sola cámara (MonoSLAM)
- Se basan en la detección de características visuales en el ambiente y el uso de técnicas basadas en filtros bayesianos u optimización

# Ejemplo SLAM Visual

Introducción a  
Robótica

Eduardo  
Morales,  
Enrique Sucar

Introducción

Arquitecturas

Percepción

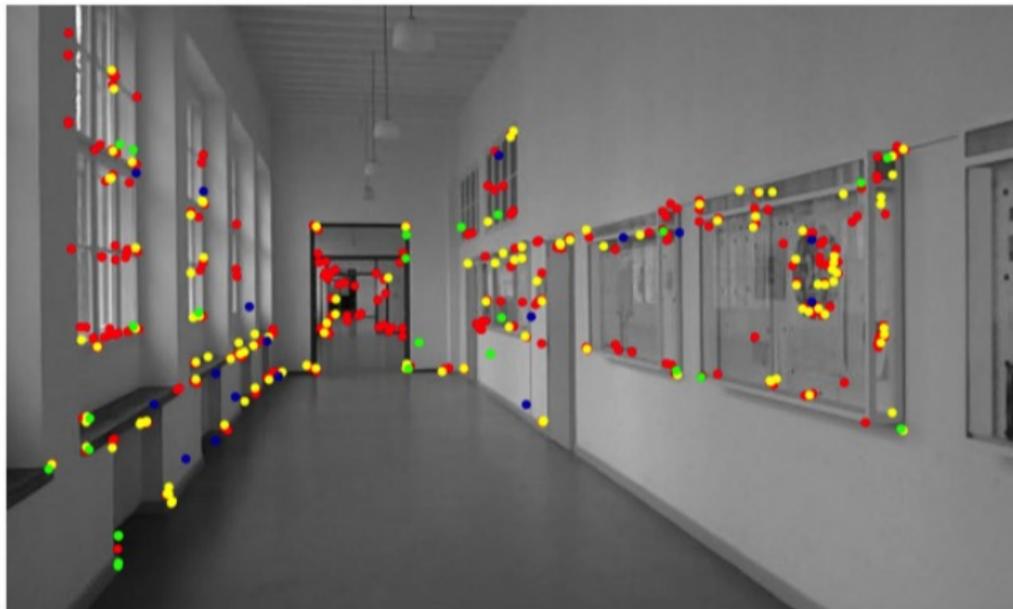
Mapas

Localización

Cinemática

Planeación de  
Trayectorias

SLAM



# Referencias

- Russel and Norvig, Cap. 25
- Dudek, Jenkin, Computational Principles of Mobile Robots, Cambridge Univ. Press
- Kortenkamp et al. (Eds.), Artificial Intelligence and Mobile Robots, MIT Press
- Thrun, Burgard, Fox, Probabilistic Robotics, MIT Press