

Modelo Probabilístico para el Control de un Robot Móvil

Sergio Andrés Gelves Rosales

Departamento de Ingeniería Industrial
Universidad de los Andes

26 de Noviembre de 2004



Contenido

- 1 Definición del Problema
- 2 Soluciones Generales Existentes
- 3 Modelo Propuesto
 - El Modelo
 - Discretización del Modelo
 - Ventajas
 - Limitaciones
- 4 Descripción del Programa



Contenido

- 1 Definición del Problema
- 2 Soluciones Generales Existentes
- 3 Modelo Propuesto
 - El Modelo
 - Discretización del Modelo
 - Ventajas
 - Limitaciones
- 4 Descripción del Programa



Contenido

- 1 Definición del Problema
- 2 Soluciones Generales Existentes
- 3 Modelo Propuesto
 - El Modelo
 - Discretización del Modelo
 - Ventajas
 - Limitaciones
- 4 Descripción del Programa



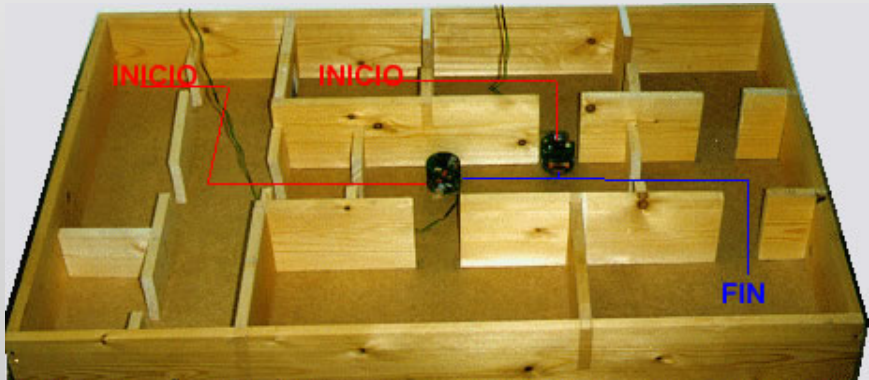
Contenido

- 1 Definición del Problema
- 2 Soluciones Generales Existentes
- 3 Modelo Propuesto
 - El Modelo
 - Discretización del Modelo
 - Ventajas
 - Limitaciones
- 4 Descripción del Programa



DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Robots Móviles



DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Permitir a un robot móvil planear una trayectoria hacia uno o más objetivos dentro de un entorno controlado.

Teniendo en cuenta:

- `Error` en el movimiento del robot.
- `Obstáculos` en el entorno.



DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Permitir a un robot móvil planear una trayectoria hacia uno o más objetivos dentro de un entorno controlado.

Teniendo en cuenta:

- `Error` en el movimiento del robot.
- `Obstáculos` en el entorno.



SOLUCIONES GENERALES EXISTENTES

Algoritmos de Planeación de ruta

- **Búsqueda en grafos.**
- **Programación Dinámica.**
- Campos Potenciales.
- Histogramas de Campos de Vector.
- Algoritmo insecto.



SOLUCIONES GENERALES EXISTENTES

Algoritmos de Planeación de ruta

- Búsqueda en grafos.
- **Programación Dinámica.**
- Campos Potenciales.
- Histogramas de Campos de Vector.
- Algoritmo insecto.



SOLUCIONES GENERALES EXISTENTES

Algoritmos de Planeación de ruta

- Búsqueda en grafos.
- **Programación Dinámica.**
- Campos Potenciales.
- Histogramas de Campos de Vector.
- Algoritmo insecto.



SOLUCIONES GENERALES EXISTENTES

Algoritmos de Planeación de ruta

- Búsqueda en grafos.
- **Programación Dinámica.**
- Campos Potenciales.
- Histogramas de Campos de Vector.
- Algoritmo insecto.



SOLUCIONES GENERALES EXISTENTES

Algoritmos de Planeación de ruta

- Búsqueda en grafos.
- **Programación Dinámica.**
- Campos Potenciales.
- Histogramas de Campos de Vector.
- Algoritmo insecto.



Procesos de Decision Markovianos

Definición

Proceso estocástico que toma un número finito de posibles valores conocidos como estados y donde la probabilidad de pasar de un estado a otro depende simplemente del estado presente y es independiente de todos los estados pasados.

Parámetros

$$(T, S_t, A_{s,t}, Pr_t(S_{t+1} | s, a), R_t(s, a))$$

Value Iteration

$$V_{t+1}(s) = \max_{a \in A} \{ R(s, a) + \beta \sum_{s' \in S} Pr(s'|a, s) * V_t(s') \} \quad (1)$$



Procesos de Decisión Markovianos

Definición

Proceso estocástico que toma un número finito de posibles valores conocidos como estados y donde la probabilidad de pasar de un estado a otro depende simplemente del estado presente y es independiente de todos los estados pasados.

Parámetros

$$(T, S_t, A_{s,t}, Pr_t(S_{t+1} | s, a), R_t(s, a))$$

Value Iteration

$$V_{t+1}(s) = \max_{a \in A} \{ R(s, a) + \beta \sum_{s' \in S} Pr(s'|a, s) * V_t(s') \} \quad (1)$$



Procesos de Decisión Markovianos

Definición

Proceso estocástico que toma un número finito de posibles valores conocidos como estados y donde la probabilidad de pasar de un estado a otro depende simplemente del estado presente y es independiente de todos los estados pasados.

Parámetros

$$(T, S_t, A_{s,t}, Pr_t(S_{t+1} | s, a), R_t(s, a))$$

Value Iteration

$$V_{t+1}(s) = \max_{a \in A} \{ R(s, a) + \beta \sum_{s' \in S} Pr(s' | a, s) * V_t(s') \} \quad (1)$$



Contenido

- 1 Definición del Problema
- 2 Soluciones Generales Existentes
- 3 Modelo Propuesto**
 - **El Modelo**
 - Discretización del Modelo
 - Ventajas
 - Limitaciones
- 4 Descripción del Programa



MODELO PROBABILÍSTICO

Descripción del Modelo

Acciones

$$a(t) = \begin{bmatrix} d(t) \\ \theta(t) \end{bmatrix}$$

$$t \in T = \{1, 2, \dots\}$$

$$d(t) \in \mathbb{R}^+,$$

$$\theta(t) \in [-\pi, \pi),$$

$a(t) \in A(t)$, el conjunto de todas las acciones posibles.

Estados



MODELO PROBABILÍSTICO

Descripción del Modelo

Acciones

$$\mathbf{a}(t) = \begin{bmatrix} d(t) \\ \Theta(t) \end{bmatrix}$$

$$t \in T = \{1, 2, \dots\}$$

$$d(t) \in R^+,$$

$$\Theta(t) \in [-\pi, \pi),$$

$\mathbf{a}(t) \in \mathbf{A}(t)$, el conjunto de todas las acciones posibles.

Estados



MODELO PROBABILÍSTICO

Descripción del Modelo

Acciones

$$\mathbf{a}(t) = \begin{bmatrix} d(t) \\ \Theta(t) \end{bmatrix}$$

$$t \in T = \{1, 2, \dots\}$$

$$d(t) \in R^+,$$

$$\Theta(t) \in [-\pi, \pi),$$

$\mathbf{a}(t) \in \mathbf{A}(t)$, el conjunto de todas las acciones posibles.

Estados



MODELO PROBABILÍSTICO

Descripción del Modelo

Acciones

$$\mathbf{a}(t) = \begin{bmatrix} d(t) \\ \Theta(t) \end{bmatrix}$$

$$t \in T = \{1, 2, \dots\}$$

$$d(t) \in R^+,$$

$$\Theta(t) \in [-\pi, \pi),$$

$\mathbf{a}(t) \in \mathbf{A}(t)$, el conjunto de todas las acciones posibles.

Estados



MODELO PROBABILÍSTICO

Descripción del Modelo

Acciones

$$\mathbf{a}(t) = \begin{bmatrix} d(t) \\ \Theta(t) \end{bmatrix}$$

$$t \in T = \{1, 2, \dots\}$$

$$d(t) \in \mathbb{R}^+,$$

$$\Theta(t) \in [-\pi, \pi),$$

$\mathbf{a}(t) \in \mathbf{A}(t)$, el conjunto de todas las acciones posibles.

Estados

$$x(t) = \begin{bmatrix} x(t) \\ y(t) \end{bmatrix}$$

$$t \in T$$

$$x(t) \in \mathbb{R}^+$$

$$y(t) \in \mathbb{R}^+$$

$$x(t) \in \mathbb{R}^2$$



MODELO PROBABILÍSTICO

Descripción del Modelo

Acciones

$$\mathbf{a}(t) = \begin{bmatrix} d(t) \\ \Theta(t) \end{bmatrix}$$

$$t \in T = \{1, 2, \dots\}$$

$$d(t) \in \mathcal{R}^+,$$

$$\Theta(t) \in [-\pi, \pi),$$

$\mathbf{a}(t) \in \mathbf{A}(t)$, el conjunto de todas las acciones posibles.

Estados

$$\mathbf{x}(t) = \begin{bmatrix} x(t) \\ y(t) \end{bmatrix}$$

$$t \in T$$

$$x(t) \in \mathcal{R}^+$$

$$y(t) \in \mathcal{R}^+$$

$$\mathbf{x}(t) \in \mathcal{R}^2$$



MODELO PROBABILÍSTICO

Descripción del Modelo

Acciones

$$\mathbf{a}(t) = \begin{bmatrix} d(t) \\ \Theta(t) \end{bmatrix}$$

$$t \in T = \{1, 2, \dots\}$$

$$d(t) \in \mathcal{R}^+,$$

$$\Theta(t) \in [-\pi, \pi),$$

$\mathbf{a}(t) \in \mathbf{A}(t)$, el conjunto de todas las acciones posibles.

Estados

$$\mathbf{x}(t) = \begin{bmatrix} x(t) \\ y(t) \end{bmatrix}$$

$$t \in T$$

$$x(t) \in \mathcal{R}^+$$

$$y(t) \in \mathcal{R}^+$$

$$\mathbf{x}(t) \in \mathcal{R}^2$$



MODELO PROBABILÍSTICO

Descripción del Modelo

Acciones

$$\mathbf{a}(t) = \begin{bmatrix} d(t) \\ \Theta(t) \end{bmatrix}$$

$$t \in T = \{1, 2, \dots\}$$

$$d(t) \in \mathcal{R}^+,$$

$$\Theta(t) \in [-\pi, \pi),$$

$\mathbf{a}(t) \in \mathbf{A}(t)$, el conjunto de todas las acciones posibles.

Estados

$$\mathbf{x}(t) = \begin{bmatrix} x(t) \\ y(t) \end{bmatrix}$$

$$t \in T$$

$$x(t) \in \mathcal{R}^+$$

$$y(t) \in \mathcal{R}^+$$

$$\mathbf{x}(t) \in \mathcal{R}^2$$



Descripción del Modelo (Continuación)

Por lo tanto en cada instante t , el robot ejecuta lo siguiente:

Ecuación Movimiento determinístico

$$f(\mathbf{x}(t), \mathbf{a}(t)) = \begin{bmatrix} x(t) + d(t) \cos(\theta(t)) \\ y(t) + d(t) \sin(\theta(t)) \end{bmatrix}$$

Normal Bivariada

$$G(d, \theta) = \frac{1}{2\pi\sigma_d\sigma_\theta} e^{-0.5\left[\frac{(d-\mu_d)^2}{\sigma_d^2} + \frac{(\theta-\mu_\theta)^2}{\sigma_\theta^2}\right]}$$



Descripción del Modelo (Continuación)

Por lo tanto en cada instante t , el robot ejecuta lo siguiente:

Ecuación Movimiento determinístico

$$f(\mathbf{x}(t), \mathbf{a}(t)) = \begin{bmatrix} x(t) + d(t) \cos(\theta(t)) \\ y(t) + d(t) \sin(\theta(t)) \end{bmatrix}$$

Normal Bivariada

$$G(d, \theta) = \frac{1}{2\pi\sigma_d\sigma_\theta} e^{-0.5\left[\frac{(d-\mu_d)^2}{\sigma_d^2} + \frac{(\theta-\mu_\theta)^2}{\sigma_\theta^2}\right]}$$



Transiciones de Estado

$$\mathbf{x}(t+1) = f(\mathbf{x}(t), \mathbf{a}(t)) + e(\mathbf{x}(t), \mathbf{a}(t))$$

A partir de $\mathbf{x}(t+1)$ y $\mathbf{x}(t)$ se puede calcular la distancia recorrida d y el ángulo de movimiento Θ .

Probabilidad de Transición

$$P\{\mathbf{x}(t+1)|\mathbf{x}(t), \mathbf{a}(t)\} = G(d, \Theta)d_d d_\Theta$$

La recompensa por ejecutar la acción \mathbf{a} en estado \mathbf{x} es:

Recompensa

$$R(\mathbf{x}, \mathbf{a}) \in (-\infty, \infty)$$



Transiciones de Estado

$$\mathbf{x}(t+1) = f(\mathbf{x}(t), \mathbf{a}(t)) + e(\mathbf{x}(t), \mathbf{a}(t))$$

A partir de $\mathbf{x}(t+1)$ y $\mathbf{x}(t)$ se puede calcular la distancia recorrida d y el ángulo de movimiento Θ .

Probabilidad de Transición

$$P\{\mathbf{x}(t+1)|\mathbf{x}(t), \mathbf{a}(t)\} = G(d, \Theta)d_d d_\Theta$$

La recompensa por ejecutar la acción \mathbf{a} en estado \mathbf{x} es:

Recompensa

$$R(\mathbf{x}, \mathbf{a}) \in (-\infty, \infty)$$



Transiciones de Estado

$$\mathbf{x}(t+1) = f(\mathbf{x}(t), \mathbf{a}(t)) + e(\mathbf{x}(t), \mathbf{a}(t))$$

A partir de $\mathbf{x}(t+1)$ y $\mathbf{x}(t)$ se puede calcular la distancia recorrida d y el ángulo de movimiento Θ .

Probabilidad de Transición

$$P\{\mathbf{x}(t+1)|\mathbf{x}(t), \mathbf{a}(t)\} = G(d, \Theta)d_d d_\Theta$$

La recompensa por ejecutar la acción \mathbf{a} en estado \mathbf{x} es:

Recompensa

$$R(\mathbf{x}, \mathbf{a}) \in (-\infty, \infty)$$



Contenido

- 1 Definición del Problema
- 2 Soluciones Generales Existentes
- 3 Modelo Propuesto**
 - El Modelo
 - Discretización del Modelo**
 - Ventajas
 - Limitaciones
- 4 Descripción del Programa



DISCRETIZACIÓN DEL MODELO

Acciones

$$\mathbf{a}(t) \in \begin{pmatrix} \text{Norte}, & d \\ \text{Este}, & d \\ \text{Sur}, & d \\ \text{Oeste}, & d \end{pmatrix}$$

Estados

$$\begin{aligned} \mathbf{x}(t) &\longrightarrow s(t) \\ s(t) &\in [1, n] \end{aligned}$$

El tamaño de cada estado en la grilla es de $b * b$ donde b es una constante.



DISCRETIZACIÓN DEL MODELO

Acciones

$$\mathbf{a}(t) \in \begin{pmatrix} \text{Norte}, & d \\ \text{Este}, & d \\ \text{Sur}, & d \\ \text{Oeste}, & d \end{pmatrix}$$

Estados

$$\begin{aligned} \mathbf{x}(t) &\longrightarrow s(t) \\ s(t) &\in [1, n] \end{aligned}$$

El tamaño de cada estado en la grilla es de $b * b$ donde b es una constante.



DISCRETIZACIÓN DEL MODELO (CONTINUACIÓN)

Transiciones

$$f(s, Norte) = s - 1$$

$$f(s, Este) = s + n\text{-filas}$$

$$f(s, Sur) = s + 1$$

$$f(s, Oeste) = s - n\text{-filas}$$

$$f(s, a) = s, \text{ si } f(s, a) \notin [1, n]$$

$$f(s, a) \in [1, n]$$

Probabilidad de Transición

$$\int_{y_1}^{y_1+b} \int_{x_1}^{x_1+b} \frac{e^{(-0.5((\frac{\sqrt{x^2+y^2}-\mu_d}{\sigma_d})^2 + (\frac{\arctan \frac{y}{x}-\mu_\theta}{\sigma_\theta})^2))}}{2\pi\sigma_d\sigma_\theta\sqrt{x^2+y^2}} dx dy$$



DISCRETIZACIÓN DEL MODELO (CONTINUACIÓN)

Transiciones

$$f(s, \text{Norte}) = s - 1$$

$$f(s, \text{Este}) = s + n\text{-filas}$$

$$f(s, \text{Sur}) = s + 1$$

$$f(s, \text{Oeste}) = s - n\text{-filas}$$

$$f(s, a) = s, \text{ si } f(s, a) \notin [1, n]$$

$$f(s, a) \in [1, n]$$

Probabilidad de Transición

$$\int_{y_1}^{y_1+b} \int_{x_1}^{x_1+b} \frac{e^{(-0.5((\frac{\sqrt{x^2+y^2}-\mu_d}{\sigma_d})^2 + (\frac{\arctan \frac{y}{x}-\mu_\theta}{\sigma_\theta})^2))}}{2\pi\sigma_d\sigma_\theta\sqrt{x^2+y^2}} dx dy$$



DISCRETIZACIÓN DEL MODELO (CONTINUACIÓN)

Transiciones

$$f(s, \text{Norte}) = s - 1$$

$$f(s, \text{Este}) = s + n\text{-filas}$$

$$f(s, \text{Sur}) = s + 1$$

$$f(s, \text{Oeste}) = s - n\text{-filas}$$

$$f(s, a) = s, \text{ si } f(s, a) \notin [1, n]$$

$$f(s, a) \in [1, n]$$

Probabilidad de Transición

$$\int_{y_1}^{y_1+b} \int_{x_1}^{x_1+b} \frac{e^{-0.5\left(\left(\frac{\sqrt{x^2+y^2}-\mu_d}{\sigma_d}\right)^2 + \left(\frac{\arctan\frac{y}{x}-\mu_\theta}{\sigma_\theta}\right)^2\right)}}{2\pi\sigma_d\sigma_\theta\sqrt{x^2+y^2}} dx dy$$



DISCRETIZACIÓN DEL MODELO (CONTINUACIÓN)

Transiciones

$$f(s, \text{Norte}) = s - 1$$

$$f(s, \text{Este}) = s + n\text{-filas}$$

$$f(s, \text{Sur}) = s + 1$$

$$f(s, \text{Oeste}) = s - n\text{-filas}$$

$$f(s, a) = s, \text{ si } f(s, a) \notin [1, n]$$

$$f(s, a) \in [1, n]$$

Probabilidad de Transición

$$\int_{y_1}^{y_1+b} \int_{x_1}^{x_1+b} \frac{e^{-0.5\left(\left(\frac{\sqrt{x^2+y^2}-\mu_d}{\sigma_d}\right)^2 + \left(\frac{\arctan \frac{y}{x} - \mu_\theta}{\sigma_\theta}\right)^2\right)}}{2\pi\sigma_d\sigma_\theta\sqrt{x^2+y^2}} dx dy$$



DISCRETIZACIÓN DEL MODELO (CONTINUACIÓN)

Transiciones

$$f(s, \text{Norte}) = s - 1$$

$$f(s, \text{Este}) = s + n\text{-filas}$$

$$f(s, \text{Sur}) = s + 1$$

$$f(s, \text{Oeste}) = s - n\text{-filas}$$

$$f(s, a) = s, \text{ si } f(s, a) \notin [1, n]$$

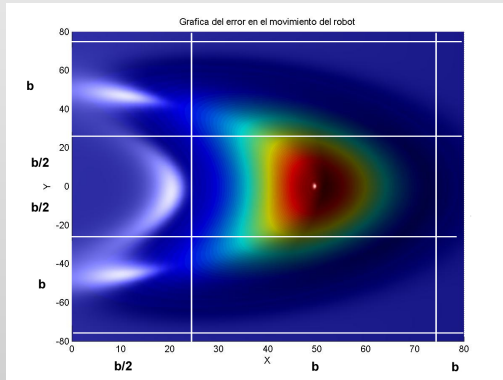
$$f(s, a) \in [1, n]$$

Probabilidad de Transición

$$\int_{y_1}^{y_1+b} \int_{x_1}^{x_1+b} \frac{e^{(-0.5((\frac{\sqrt{x^2+y^2}-\mu_d}{\sigma_d})^2 + (\frac{\arctan \frac{y}{x}-\mu_\Theta}{\sigma_\Theta})^2))}}{2\pi\sigma_d\sigma_\Theta\sqrt{x^2+y^2}} dx dy$$



DISTRIBUCIÓN DEL ERROR



Contenido

- 1 Definición del Problema
- 2 Soluciones Generales Existentes
- 3 Modelo Propuesto**
 - El Modelo
 - Discretización del Modelo
 - Ventajas**
 - Limitaciones
- 4 Descripción del Programa



VENTAJAS

- La solución obtenida siempre es óptima. El robot actuará en forma que maximice la función objetivo suministrada.
- El modelo permite tener en cuenta la incertidumbre en el movimiento del robot.



VENTAJAS

- La solución obtenida siempre es óptima. El robot actuará en forma que maximice la función objetivo suministrada.
- El modelo permite tener en cuenta la incertidumbre en el movimiento del robot.



Contenido

- 1 Definición del Problema
- 2 Soluciones Generales Existentes
- 3 Modelo Propuesto**
 - El Modelo
 - Discretización del Modelo
 - Ventajas
 - **Limitaciones**
- 4 Descripción del Programa



LIMITACIONES

- El robot necesita saber siempre su posición exacta.
- En el mapa del entorno, los puntos de referencia deben ser estáticos y bien definidos.
- El modelo está desarrollado únicamente para robots con tracción de tipo diferencial.



LIMITACIONES

- El robot necesita saber siempre su posición exacta.
- En el mapa del entorno, los puntos de referencia deben ser estáticos y bien definidos.
- El modelo está desarrollado únicamente para robots con tracción de tipo diferencial.



LIMITACIONES

- El robot necesita saber siempre su posición exacta.
- En el mapa del entorno, los puntos de referencia deben ser estáticos y bien definidos.
- El modelo está desarrollado únicamente para robots con tracción de tipo diferencial.



DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA

Matlab®

- Trabaja en forma eficiente con matrices.
- Posee la función `sparse` útil para matrices de poca densidad (solamente guarda en memoria los valores distintos de 0).

Estructura del Programa

Se implementó funciones que permiten:

- Crear el entorno en que se va a mover el robot.
- Representar las transiciones a partir de unos parámetros.
- Ejecutar el algoritmo de value iteration.



DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA

Matlab®

- Trabaja en forma eficiente con matrices.
- Posee la función `sparse` útil para matrices de poca densidad (solamente guarda en memoria los valores distintos de 0).

Estructura del Programa

Se implementó funciones que permiten:

- Crear el entorno en que se va a mover el robot.
- Representar las transiciones a partir de unos parámetros.
- Ejecutar el algoritmo de value iteration.



DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA

Matlab®

- Trabaja en forma eficiente con matrices.
- Posee la función `sparse` útil para matrices de poca densidad (solamente guarda en memoria los valores distintos de 0).

Estructura del Programa

Se implementó funciones que permiten:

- Crear el entorno en que se va a mover el robot.
- Representar las transiciones a partir de unos parámetros.
- Ejecutar el algoritmo de value iteration.



DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA

Matlab®

- Trabaja en forma eficiente con matrices.
- Posee la función `sparse` útil para matrices de poca densidad (solamente guarda en memoria los valores distintos de 0).

Estructura del Programa

Se implementó funciones que permiten:

- Crear el entorno en que se va a mover el robot.
- Representar las transiciones a partir de unos parámetros.
- Ejecutar el algoritmo de value iteration.



DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA

Matlab®

- Trabaja en forma eficiente con matrices.
- Posee la función `sparse` útil para matrices de poca densidad (solamente guarda en memoria los valores distintos de 0).

Estructura del Programa

Se implementó funciones que permiten:

- Crear el entorno en que se va a mover el robot.
- Representar las transiciones a partir de unos parámetros.
- Ejecutar el algoritmo de value iteration.



DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA

Matlab®

- Trabaja en forma eficiente con matrices.
- Posee la función `sparse` útil para matrices de poca densidad (solamente guarda en memoria los valores distintos de 0).

Estructura del Programa

Se implementó funciones que permiten:

- Crear el entorno en que se va a mover el robot.
- Representar las transiciones a partir de unos parámetros.
- Ejecutar el algoritmo de value iteration.



DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA

Matlab®

- Trabaja en forma eficiente con matrices.
- Posee la función `sparse` útil para matrices de poca densidad (solamente guarda en memoria los valores distintos de 0).

Estructura del Programa

Se implementó funciones que permiten:

- Crear el entorno en que se va a mover el robot.
- Representar las transiciones a partir de unos parámetros.
- Ejecutar el algoritmo de value iteration.



CONCLUSIONES

- El **modelo** presentado es más robusto al permitir a un robot con tracción diferencial:
 - Planear el movimiento teniendo en cuenta los obstáculos.
 - Tomar en cuenta la incertidumbre en el movimiento del robot.
- El **programa** presentado valida la aplicabilidad del modelo.
- El tipo de modelamiento presentado es de **fácil uso** y permite una gran variedad de aplicaciones en robótica.



CONCLUSIONES

- El **modelo** presentado es más robusto al permitir a un robot con tracción diferencial:
 - Planear el movimiento teniendo en cuenta los obstáculos.
 - Tomar en cuenta la incertidumbre en el movimiento del robot.
- El **programa** presentado valida la aplicabilidad del modelo.
- El tipo de modelamiento presentado es de **fácil uso** y permite una gran variedad de aplicaciones en robótica.



CONCLUSIONES

- El **modelo** presentado es más robusto al permitir a un robot con tracción diferencial:
 - Planear el movimiento teniendo en cuenta los obstáculos.
 - Tomar en cuenta la incertidumbre en el movimiento del robot.
- El **programa** presentado valida la aplicabilidad del modelo.
- El tipo de modelamiento presentado es de **fácil uso** y permite una gran variedad de aplicaciones en robótica.



CONCLUSIONES

- El **modelo** presentado es más robusto al permitir a un robot con tracción diferencial:
 - Planear el movimiento teniendo en cuenta los obstáculos.
 - Tomar en cuenta la incertidumbre en el movimiento del robot.
- El **programa** presentado valida la aplicabilidad del modelo.
- El tipo de modelamiento presentado es de **fácil uso** y permite una gran variedad de aplicaciones en robótica.



CONCLUSIONES

- El **modelo** presentado es más robusto al permitir a un robot con tracción diferencial:
 - Planear el movimiento teniendo en cuenta los obstáculos.
 - Tomar en cuenta la incertidumbre en el movimiento del robot.
- El **programa** presentado valida la aplicabilidad del modelo.
- El tipo de modelamiento presentado es de **fácil uso** y permite una gran variedad de aplicaciones en robótica.



TRABAJOS FUTUROS

- Añadirle al programa **funcionalidad** al dar la posibilidad de que el robot tenga un mayor conjunto de acciones posibles.
- Dar la capacidad de **localización** y **mapeo**.
- Posibilidad de que el robot se pueda mover en un **entorno dinámico**.



TRABAJOS FUTUROS

- Añadirle al programa **funcionalidad** al dar la posibilidad de que el robot tenga un mayor conjunto de acciones posibles.
- Dar la capacidad de **localización** y **mapeo**.
- Posibilidad de que el robot se pueda mover en un **entorno dinámico**.



TRABAJOS FUTUROS

- Añadirle al programa **funcionalidad** al dar la posibilidad de que el robot tenga un mayor conjunto de acciones posibles.
- Dar la capacidad de **localización** y **mapeo**.
- Posibilidad de que el robot se pueda mover en un **entorno dinámico**.



SECCIÓN DE PREGUNTAS

GRACIAS

