



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA – ICET CAMPUS
UNIVERSITÁRIO MOYSÉS BENARRÓS ISRAEL
BACHARELADO EM ENGENHARIA DE SOFTWARE

Antony Ryan Gusmão Rabelo
Walter Jonas de Sousa Viana

Robótica I - Documentação da lista

ITACOATIARA-AM

2023

Antony Ryan Gusmão Rabelo
Walter Jonas de Sousa Viana

Robótica I - Documentação da lista

Trabalho referente à disciplina de Robótica I ministrada pelos Professores Carlos Freitas e Felipe Oliveira, para obtenção de nota parcial do sexto período do Curso Bacharelado em Engenharia de Software, do Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia – ICET.

Questão 1

Modelos Cinemáticos

Antes de entender o que é e quais são os modelos cinemáticos, precisamos conhecer o conceito de cinemática. A **Cinemática** concentra-se no estudo do movimento dos corpos sem levar em conta as causas do movimento. Ela estuda as posições, referenciais, trajetórias, velocidades e acelerações dos móveis. É dividida em duas categorias/ramos que chamamos de Cinemática Direta e Cinemática Inversa. Cinemática direta realiza o uso de equações cinemáticas para estimar a velocidade do robô com base nos valores das variáveis de controle informado, e a Cinemática inversa realiza o uso das equações cinemáticas com base na velocidade final desejada, determina as entradas de controle válidas para alcançá-la, é usada para projetar sistemas robóticos, como braços robóticos, onde é necessário calcular as forças necessárias para mover o objeto de uma posição para outra.

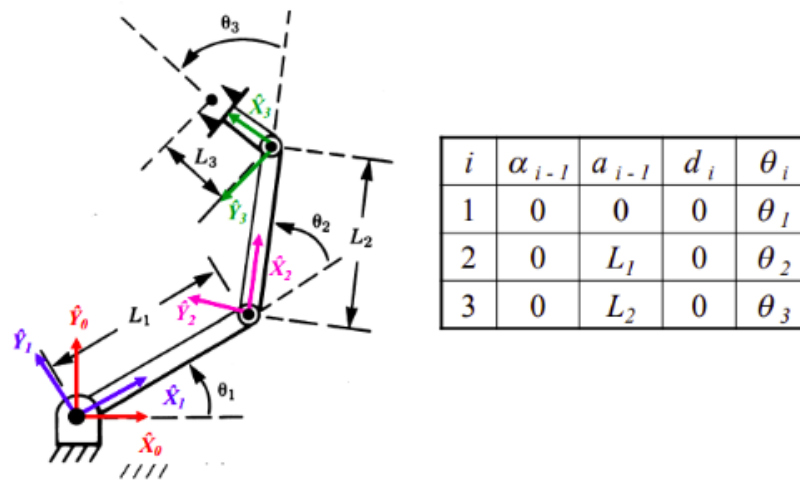
Com base nesse conhecimento podemos conhecer os **modelos cinemáticos** que são representações matemáticas que descrevem o movimento de objetos em um sistema. Eles são usados para prever e analisar o comportamento dinâmico de sistemas mecânicos, robóticos, biológicos e outros, levando em consideração fatores como forças, massa e aceleração. O objetivo principal dos modelos cinemáticos é fornecer uma compreensão quantitativa do movimento de um objeto, permitindo que engenheiros, cientistas e outros profissionais projetem e implementem algoritmos de controle corretos. Resumindo, os modelos cinemáticos descrevem o robô em função da velocidade e orientação das rodas.

Exemplo de uso

Um **exemplo** de modelo cinemático é o modelo de um braço robótico. Neste modelo, as juntas do braço são descritas matematicamente como ângulos ou posições, e as relações entre as juntas são descritas por equações matemáticas que descrevem as transformações do sistema de coordenadas local de cada junta para o sistema de coordenadas global. Uma metodologia bastante conhecida para calcular os parâmetros é a notação de Denavit-Hartenberg ou modelo D-H que permite obter a posição e a orientação da ferramenta além de definir completamente a cinemática do manipulador.

Abaixo um exemplo de cinemática de manipuladores no modelo de D-H para robôs 3R (robô articulado).

Figura 1 - Exemplo Modelo Cinemático com a Tabela.



Descreve a posição do eixo de coordenadas de um elo em relação ao elo anterior, resultando somente em 4 parâmetros.

- Rotação ao redor do eixo Z_{i-1} de um ângulo θ_i .
- Translação ao longo de Z_i de uma distância d_i .
- Translação ao longo de x_i de uma distância a_i .
- Rotação ao redor do eixo x_i de um ângulo α_i .

Dois diferentes tipos de modelos cinemáticos e suas características

Modelo Omnidirecional:

A palavra omni (ou oni) significa tudo, inteiro. Um robô que possua rodas omnidirecionais irá se movimentar em todas as direções e ângulos, sem a necessidade do robô rotacionar, ou seja, fazer aquela tradicional curva para esquerda ou direita. Estes robôs são usados em aplicações como exploração, monitoramento e manuseio de materiais. O robô deve ser capaz de traçar qualquer caminho no ambiente de trabalho para atingir os pontos necessários, desta forma, ele possui 3 graus de liberdade para movimentar-se, possuindo a capacidade de transladar em duas direções e rodar em relação ao seu centro de gravidade. Assim, um veículo omnidirecional tem seu posicionamento definido por três dimensões: duas para representar a sua posição no plano e uma para a rotação em relação ao

seu eixo vertical, que é ortogonal ao plano de movimentação. Algumas das suas principais características incluem:

Mobilidade omnidirecional: como mencionado, o robô é capaz de se mover em qualquer direção sem mudar sua orientação.

Flexibilidade: devido à sua capacidade de se mover em qualquer direção, os robôs cinemáticos omnidirecionais são altamente flexíveis e podem ser usados em uma ampla variedade de aplicações.

Locomobibilidade: devido ao seu design, o robô cinemático omnidirecional é fácil de ser controlado e pode ser programado para se mover de maneira precisa e controlada.

Versatilidade: o robô cinemático omnidirecional é capaz de se adaptar a uma ampla variedade de tarefas e situações, tornando-o uma escolha popular para aplicações industriais e comerciais.

Eficiência: devido à sua capacidade de se mover sem mudar sua orientação, os robôs cinemáticos omnidirecionais são eficientes e podem ser usados para realizar tarefas rapidamente.

Modelo Jacobiano:

O modelo Jacobiano é uma ferramenta matemática utilizada em robótica e controle de robôs para descrever a relação entre as velocidades dos componentes de um sistema mecânico e os movimentos dos componentes. O Jacobiano é uma matriz que se utiliza para calcular a velocidade angular e linear de um sistema mecânico dado um conjunto de entradas de velocidades atuadoras. É uma forma eficiente de resolver o problema da cinemática inversa, calcular a entrada necessária para lograr um movimento desejado no sistema. Algumas das suas principais características incluem:

Representação de coordenadas: O modelo referencial jacobiano permite a representação de sistemas robóticos em coordenadas espaciais, tornando possível a descrição de sua posição e orientação no espaço.

Dinâmica: O modelo jacobiano permite a representação da dinâmica dos sistemas robóticos, o que significa que é possível descrever suas forças e torques aplicados em diferentes pontos.

Análise Cinemática: O modelo jacobiano permite a análise cinemática dos sistemas robóticos, o que significa que é possível descrever seus movimentos e sua posição no tempo.

Versatilidade: O modelo jacobiano é versátil e pode ser aplicado a uma ampla gama de sistemas robóticos, incluindo robôs industriais, robôs móveis e robôs humanóides.

Controlabilidade: O modelo jacobiano é fundamental para a implementação de controladores de sistemas robóticos, pois permite a descrição da relação entre as entradas (comandos de movimento) e as saídas (movimento do sistema).

Modelo Cinemático Diferencial

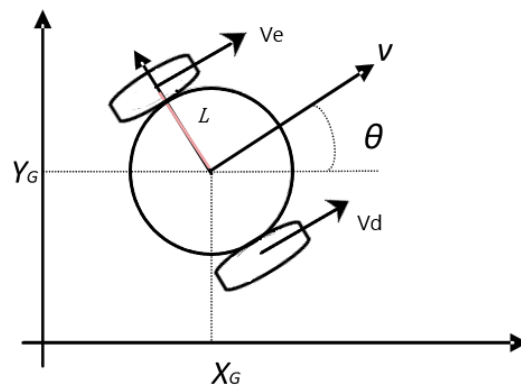
O modelo diferencial é uma representação matemática da dinâmica de robôs diferenciais. É usado para descrever a posição, velocidade e aceleração dos dois lados do robô em relação ao seu centro de massa, permitindo a simulação e o controle precisos de seus movimentos.

Um robô diferencial é uma máquina mecânica programável projetada para realizar tarefas específicas no mundo físico. É chamado de "diferencial" porque seus dois lados são controlados individualmente para se mover independentemente, permitindo assim a execução de movimentos mais precisos. Alguns exemplos de tarefas que um robô diferencial pode realizar incluem: manipulação de objetos, navegação em ambientes desconhecidos e movimentos de dança.

O robô diferencial possui rodas tipo "padrão" que possuem um único eixo de rotação, e sua base fica presa no local de afixação, possuindo também apenas um grau de liberdade por definição. Essas rodas padrão são as rodas que irão movimentar o robô sendo situadas uma de cada lado e uma ou mais rodas adicionais em tração para fazer com que o robô de estabilidade estática (capacidade do objeto permanecer íntegro e/ou em pé).

Sua representação é feita através de uma planta baixa com uma visão bidimensional com seu ponto sendo localizado na coordenada no eixo x e coordenada no eixo y. Por conta da sua parte que se localiza como frente do robô que seria a parte que a gente tem como base para identificar para onde o robô está apontando no plano, sua orientação θ é o ângulo entre a parte da frente do robô e o eixo x do ambiente.

Figura 2 - Representação do posicionamento do robô diferencial.



O ponto de médio do robô é o ponto do meio entre o eixo das duas rodas laterais, que será um lugar de igual distribuição para todos os lados que poderá ser composto por duas propriedades básicas, que é a sua translação(ir para frente e para trás) e/ou rotação. A sua translação nos dará uma velocidade chamada velocidade linear(v) alocada no eixo x do robô, já a sua rotação será com base no eixo z.

Diferença entre o modelo Diferencial, modelo Omnidirecional e Jacobiano

Os modelos cinemáticos são usados para representar a movimentação de objetos no espaço. Eles são comumente utilizados na robótica fixa e móvel.

Modelo Diferencial: O modelo cinemático diferencial é usado para descrever o movimento relativo entre duas partes de um objeto. Por exemplo, ele pode ser usado para descrever o movimento da roda de um carro em relação ao seu eixo. Este modelo é baseado na equação diferencial da cinemática, que descreve a variação da velocidade e da aceleração com o tempo.

Modelo Omnidirecional: O modelo omnidirecional é usado para descrever o movimento de objetos que podem se mover em qualquer direção, como robôs móveis ou veículos aéreos não tripulados. Este modelo é baseado na representação matemática da posição, velocidade e aceleração em três dimensões, e descreve como essas quantidades mudam com o tempo.

Modelo Jacobiano: O modelo jacobiano é uma técnica matemática usada para descrever a relação entre as entradas e saídas de um sistema dinâmico. Ele é comumente usado em robótica e mecatrônica para descrever o movimento de juntas

em robôs e para ajustar o controle de movimento de objetos. O modelo jacobiano pode ser usado em conjunto com outros modelos cinemáticos para produzir resultados mais precisos.

Questão 2

A questão pedia para realizar o trajeto da coordenada de origem do robô até uma coordenada alvo (target) onde o robô deve para ao chegar. Realizamos 3 experimentos na questão 2, variando os cenários e as posições iniciais e finais como pedia no devido enunciado. As coordenadas dos 3 experimentos realizados são apresentados nas tabelas 1, 2 e 3.

Tabela 1 - Coordenadas do primeiro experimento da questão 2.

-	x	y
Ponto Inicial	-8.95	-2.80
Ponto Final	0.30	-2.60

Tabela 2 - Coordenadas do segundo experimento da questão 2.

-	x	y
Ponto Inicial	-4.55	-0.20
Ponto Final	0.30	-2.60

Tabela 3 - Coordenadas do terceiro experimento da questão 2.

-	x	y
Ponto Inicial	-7.5	-6.0
Ponto Final	0.0	0.0

Tabela 4 - Cenários da questão 2.

Experimentos	Cenário
Primeiro experimento	ssmap.pgm
Segundo experimento	map.pgm
Terceiro experimento	mapa.pgm

Segue abaixo imagens do trajeto dos 3 experimentos da questão 2:

Figura 3 - Experimento 1 da questão 2.

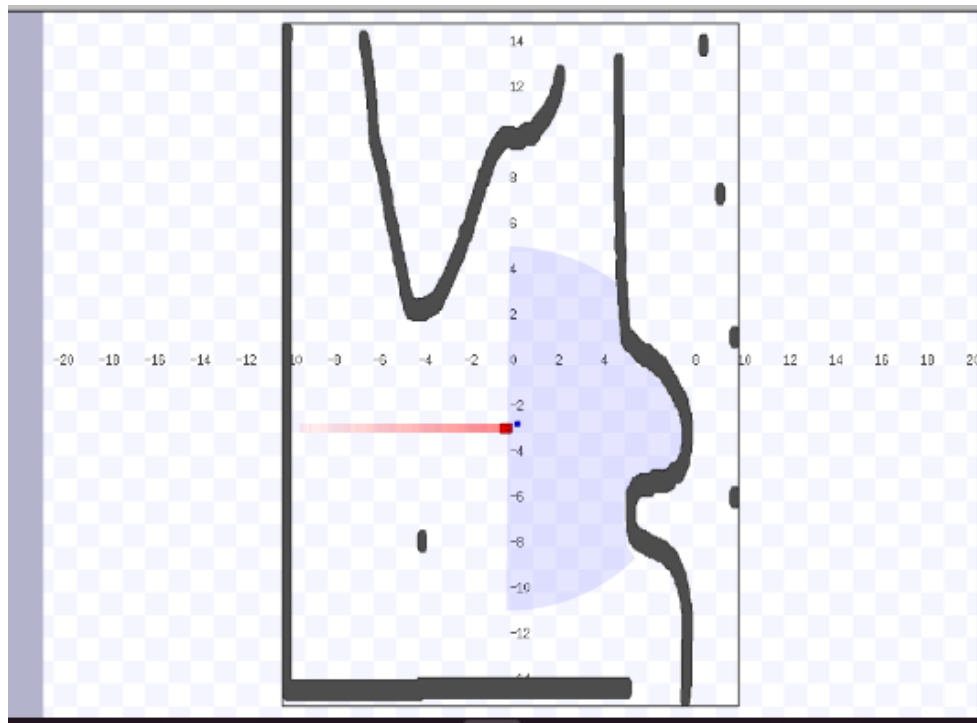


Figura 4 - Experimento 2 da questão 2.

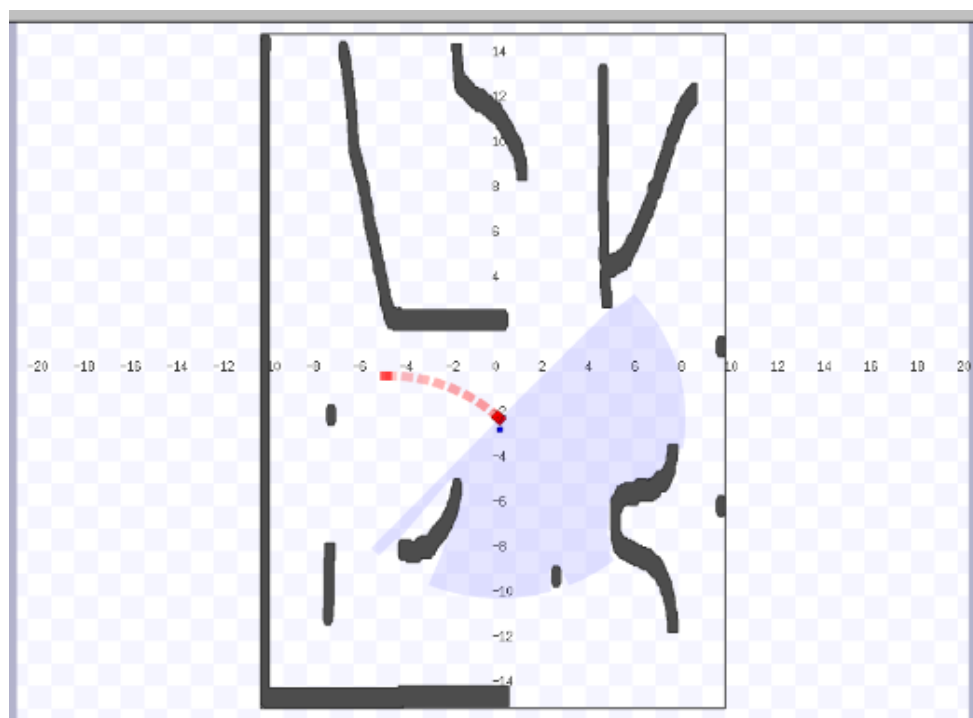
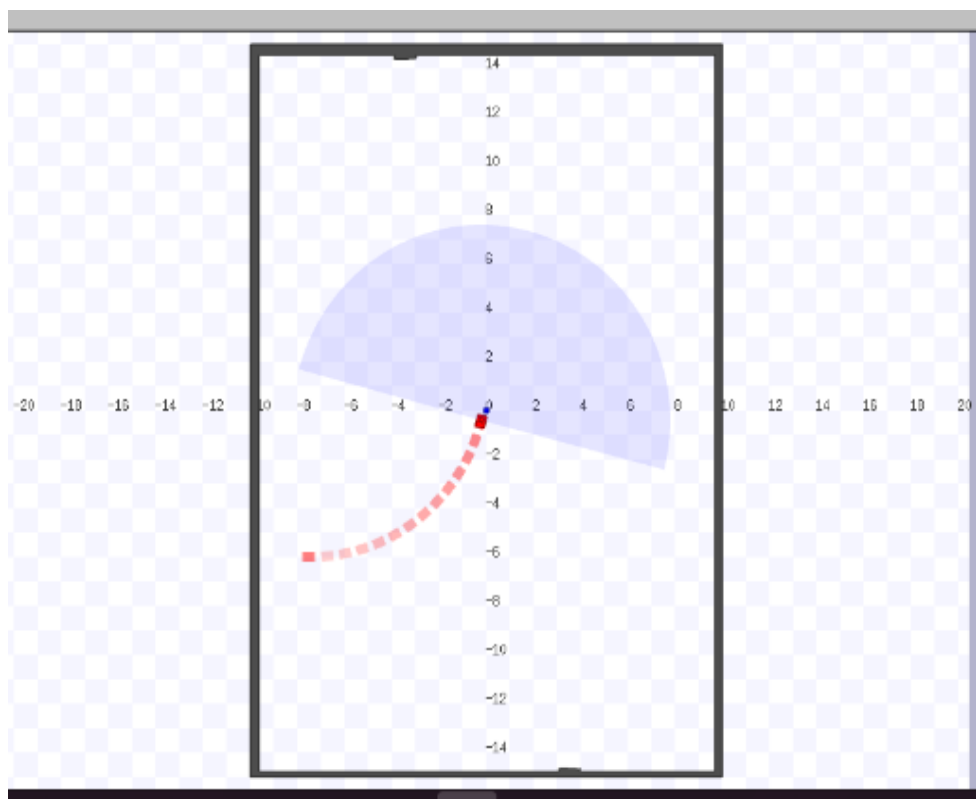


Figura 5 - Experimento 3 da questão 2.



Atribuímos valores manualmente as velocidades lineares e angulares do robô para controlar o seu trajeto e realizar os devidos caminhos apresentados nas figuras 3, 4 e 5. No geral as dificuldades que tivemos nessa questão, era de entender as funções do código fonte fornecido e também de configurar o mundo, como mudar a posição inicial do robô, o target, e o cenário.

Questão 3

A presente questão visa realizar experimentos em 3 cenários diferentes. Em relação à questão anterior a tarefa foi um pouco mais complexa. A tarefa cuja função era de simular o processo de navegação autônoma, definindo um conjunto de coordenadas até o robô chegar ao seu destino (target). As coordenadas para os 3 experimentos dessa questão são apresentadas nas tabelas 5, 6 e 7.

Tabela 5 - Coordenadas do experimento 1 da questão 3.

-	x	y
Ponto Inicial	-8.45	-12.70
Ponto intermediário 1	0.43	-5.75
Ponto intermediário 2	6.93	-2.99
Ponto intermediário 3	5.14	4.54
Ponto Final	-0.06	13.89

Tabela 6 - Coordenadas do experimento 2 da questão 3.

-	x	y
Ponto Inicial	-6.94	-10.63
Ponto intermediário 1	3.46	-10.63
Ponto intermediário 2	3.81	-2.47
Ponto intermediário 3	-5.46	2.57
Ponto intermediário 4	-4.61	10.15

Ponto Final	8.30	12.50
-------------	------	-------

Tabela 7 - Coordenadas do experimento 3 da questão 3.

-	x	y
Ponto Inicial	-7.95	-13.85
Ponto intermediário 1	-4.14	-5.56
Ponto intermediário 2	-2.58	-1.53
Ponto intermediário 3	3.30	6.69
Ponto intermediário 4	6.29	13.19
Ponto Final	9.04	13.94

Conseguimos observar que no experimento 1, definimos 3 coordenadas intermediárias, no experimento 2 e 3, definimos 4 coordenadas intermediárias.

Tabela 8 - Cenários da questão 3.

Experimentos	Cenário
Primeiro experimento	mapaObs2.pgm
Segundo experimento	mapaObs3.pgm
Terceiro experimento	mapaObs4.pgm

Segue abaixo imagens de um pouco dos trajetos dos 3 experimentos da questão 3:

Figura 6 - Experimento 1 da questão 3.

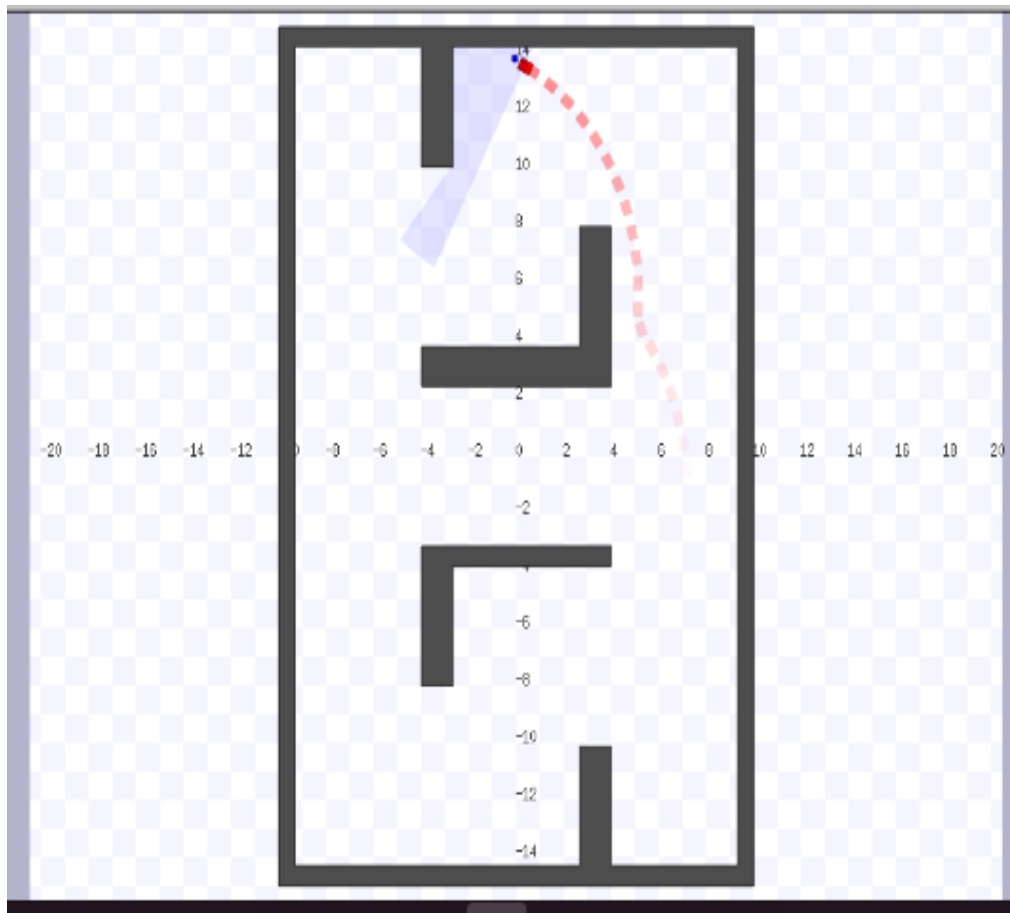


Figura 7 - Experimento 2 da questão 3.

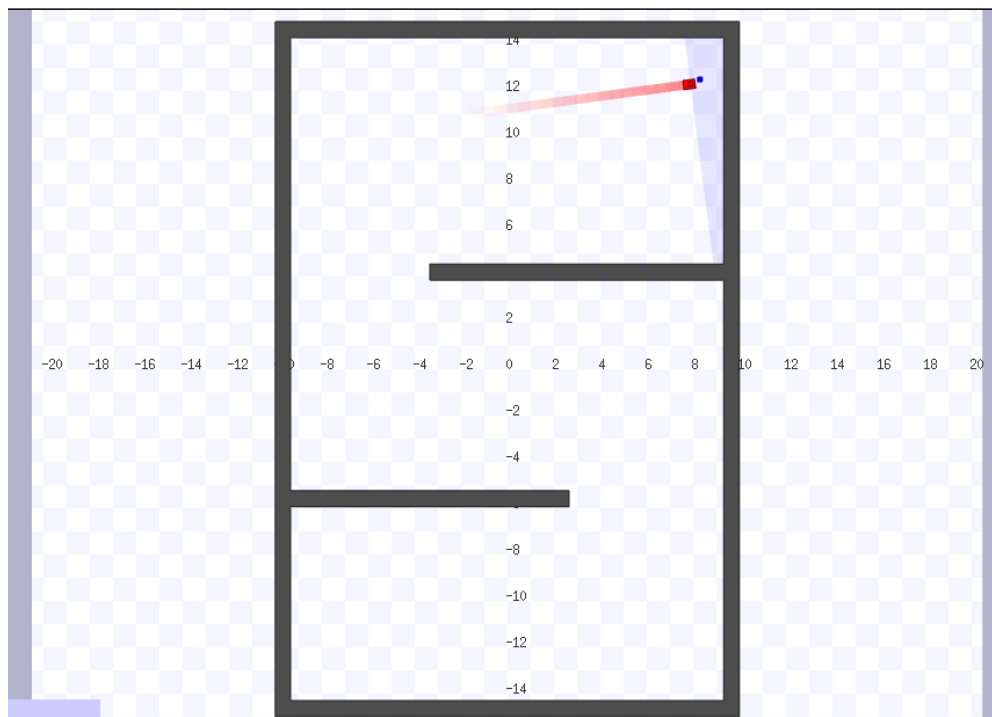
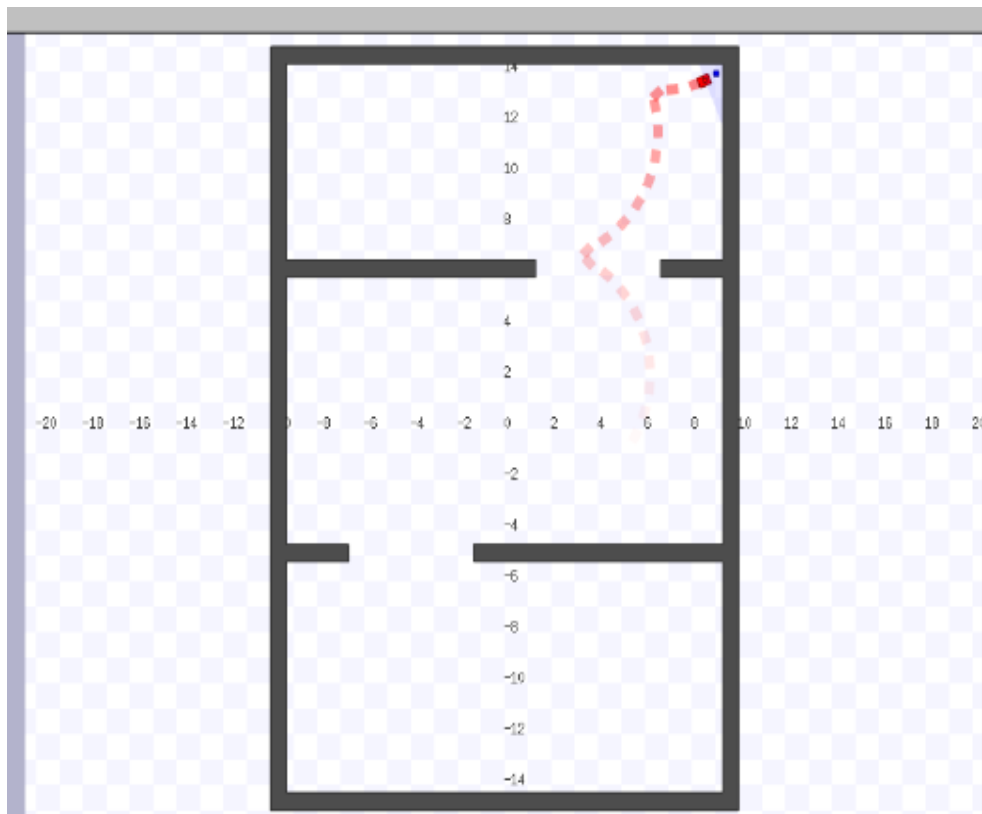


Figura 8 - Experimento 3 da questão 3.

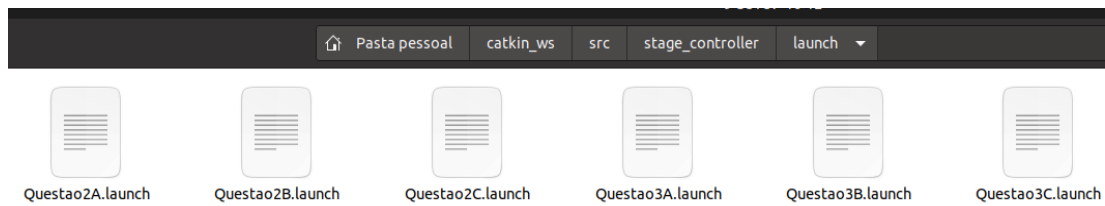


Atribuímos valores as velocidades lineares e angulares do robô para controlar o seu trajeto e realizar os devidos caminhos apresentados nas figuras 6, 7 e 8, o funcionamento consiste em o robô iniciar na sua posição de origem e ir traçando os pontos que foram definidos. Em cada ponto que o robô passa, as velocidades lineares e angulares são alteradas para que o robô consiga chegar no próximo ponto definido, as velocidades lineares e angulares foram definidas manualmente. No geral as dificuldades que tivemos nessa questão, era de definir as velocidades lineares e angulares para que o robô consiga fazer seu trajeto chegando ao ponto de destino sem colisão. Os experimentos 2 e 3 dessa questão quando foram testados algumas vezes, o robô alterava a sua trajetória, ocasionando uma colisão, o que entendemos como um bug, porém outras vezes testando o mesmo script, o robô seguiu a trajetória corretamente.

Questão 4

Os arquivos .launch estão salvos no diretório stage_controller/launch.

Figura 9 - Arquivos .launch.



Questão 5

Os arquivos .bag estão salvos no diretório stage_controller/questao 5 - bags.

Figura 10 - Arquivos .bag.



Referências

ROS.org. Disponível em: <http://wiki.ros.org/pt_BR/ROS/>. Acesso em: 08 fev. 2023.

UFMG. Disponível em: <<https://homepages.dcc.ufmg.br/~doug/cursos/lib/exe/fetch.php?media=cursos:introrobotica:2018-1:aula14-representacao-modelos-cinematicos.pdf>>. Acesso em: 08 fev. 2023.

USP. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5152060/mod_resource/content/1/PMR3502_Aula3_Modelo_Robos_Rodas_Final.pdf>. Acesso em: 08 fev. 2023.

ZHENG, Kaiyu. Ros navigation tuning guide. **Robot Operating System (ROS) The Complete Reference (Volume 6)**, p. 197-226, 2021.