



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Trabalho Prático n.º 1

Braitenberg Vehicles

Fundamentos de Inteligência Artificial
Licenciatura em Engenharia Informática
2021/2022

Duarte Emanuel Ramos Meneses – 2019216949 – duartemeneses@student.dei.uc.pt - PL3

Patrícia Beatriz Silva Costa – 2019213995 – patriciacosta@student.dei.uc.pt - PL3

Índice

Meta 1 – Sense it.....	1
Meta 2 – Tune it & Test it.....	2
Círculo	3
Infinito	5
Elipse	7
Mundos	8

Meta 1 – Sense it

Nesta meta, era-nos pedido que, a partir dos veículos já disponibilizados, expandíssemos as suas capacidades. Era-nos dado já código para os veículos seguirem a luz. No entanto, o veículo encarregue de tal tarefa fugia da luz em vez de a seguir. Isto devia-se ao facto de estar programado para ser um veículo do tipo medroso e não agressor. Para conseguir que ele seguisse as luzes bastou trocar os sensores lineares encarregues de detetar tal energia. Tendo o sensor esquerdo ligado à roda direita e o sensor direito ligado à roda esquerda, o carro já não foge da luz, mas segue-a (veículo agressor).

Tendo aquele veículo já a executar o que era suposto, passamos à próxima fase: meter um veículo a segui-lo. Para tal, necessitamos de desenvolver o script `CarDetectorScript.cs`. Este é, no global, muito parecido ao script responsável pela deteção das luzes, porém, naturalmente, com algumas modificações.

A grande alteração prende-se com a fórmula utilizada para calcular a energia total recebida pelo sensor. Sendo que os veículos não têm atributo `range` (raio até onde chega a energia da luz), não fazia sentido utilizá-lo na fórmula da deteção dos veículos. Retirámo-lo, pelo que a fórmula ficou:

$$\text{output} += 1.0f / ((\text{transform.position} - \text{car.transform.position}).\text{sqrMagnitude} + 1)$$

Depois de calcular esse valor de energia, decidimos que devíamos comparar com o maior já obtido. Se for maior, passa a ser esse o valor de referência e o veículo a seguir. Caso contrário, mantém-se tudo igual.

Porém, apenas com isto, não se viam grandes alterações. O veículo arrancava, mas como tinha a sua velocidade demasiado baixa, acabava por parar pois deixava o veículo que devia seguir afastar-se e os seus sensores deixavam de detetar a energia que deviam. Para tal, invertimos o output do `CarDetectorLinearScript.cs`, passando a retornar `1 – output`, tornando o veículo em apaixonado. Outra possibilidade seria aumentar diretamente a constante que multiplica pela velocidade. Com esta simples alteração, conseguimos que o veículo andasse de forma mais rápida e detetasse o veículo à sua frente, seguindo-o durante mais tempo.

Tendo já isto implementado, bastava verificar se o veículo seguia efetivamente o que lhe estava mais próximo. Para comprovar tal situação, acrescentamos um veículo à cena em várias posições e analisamos o comportamento do veículo encarregue de detetar os seus

semelhantes. Reparamos, tal como era esperado, que este seguia o que lhe estava mais próximo, finalizando assim as tarefas da meta 1.

Meta 2 – Tune it & Test it

Nesta etapa do trabalho prático era-nos pedido que criássemos veículos capazes de replicar algumas trajetórias detetando luzes, tais como a do círculo, do infinito e a da elipse. Para isso, tivemos de programar a parte dos limites e dos limiares nos ficheiros de código das funções de ativação para cada sensor de deteção de luzes.

Sendo os limiares os delimitadores no que diz respeito aos valores de X, definimos que, caso o valor de X fosse superior ao valor máximo desta variável ou inferior ao valor mínimo desta, o valor resultante da função de ativação seria o do Y mínimo. Decidimos isto pois vendo os gráficos abaixo, fica evidente que os valores de X mínimo e máximo são respetivamente, 0.25 e 0.75. Ora, é assim óbvio que sempre que o valor de X não está entre estes dois delimitadores, o valor resultante é igual ao do Y mínimo (definido como 0.05 neste caso).

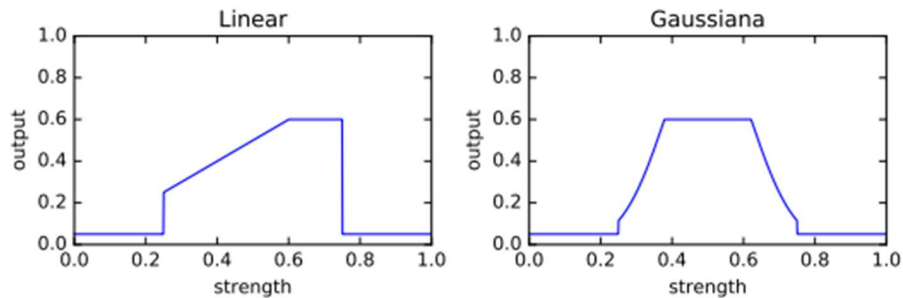


Figura 1 - Função linear e gaussiana com limiares 0.25, 0.75 e limites 0.05, 0.6

Para implementar limites seguimos a mesma lógica. Os limites delimitam o valor do resultado da função de ativação caso este seja ou superior ao valor do Y máximo ou inferior ao do Y mínimo. Deste modo, e seguindo o exemplo dos gráficos acima, percebemos que o Y máximo está definido como sendo 0.6 e o mínimo como 0.05. Caso o output seja superior a 0.6 será limitado por 0.6, passando a ser esse o output. De igual modo, se o output for inferior a 0.05 passa a ser 0.05.

Para a função de ativação gaussiana utilizamos a seguinte fórmula:

$$g(x) = \frac{1}{\text{desvioPadrao} \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(x - \text{media})^2}{\text{desvioPadrao}^2}\right)$$

, sendo a fórmula do cálculo da energia recebida por um sensor:

$$\text{energia} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\frac{\text{distancia}(p_i, \text{sensor})^2}{r_i} + 1}$$

Ao longo dos testes que fomos efetuando e que apresentaremos já de seguida, percebemos que nem sempre era necessário definir limites e limiares para conseguir replicar a trajetória pretendida. No entanto, sendo este um trabalho prático que envolve esta matéria,

mesmo tendo encontrado os valores que permitem simular a trajetória sem limites e limiares, fomos encontrar outros valores que permitam implementar estes delimitadores.

Antes de realizar cada teste, tivemos de decidir que função de ativação utilizar: se a linear ou a gaussiana. Sendo a linear uma função de ativação que retorna o valor do input, quanto muito, multiplicado por uma constante, acaba por ser um pouco limitada. Tendo consciência que esta função daria para replicar algumas trajetórias, como por exemplo a do círculo, optamos por utilizar a função de ativação gaussiana em todas as trajetórias.

É importante realçar que para cada experiência, efetuamos 5 testes para reduzir ao máximo a possibilidade da existência de outliers. Sempre que, ao fim desses 5 testes, não conseguimos detetar um padrão, concluímos que o resultado era incerto. Nas tabelas onde apresentamos os valores de teste, quando a experiência está a verde, é sinal que foram os melhores valores que encontramos. Se está a amarelo, significa que funciona, mas não são os melhores valores e se está vermelho significa que não funciona.

Numa nota final antes de apresentar os resultados que obtivemos, queremos frisar que, para cada experiência, tomamos como ponto de partida os valores de exemplo do enunciado e sempre que os valores de ambos os limites ou/e ambos os limiares sejam 0, a/as opção/opções de detetar limites ou/e limiares está/estão desativada/desativadas.

Círculo

Decidimos começar a replicar as trajetórias pela do círculo. É evidente que neste tipo de trajetória, a roda que tem de andar mais é a que está mais afastada da luz. Ora, se isto acontece, o sensor que tem de lhe estar associado é o que está mais próximo da luz, uma vez que é o que recebe mais energia. Posto isto, cruzamos os sensores, tornando o veículo agressor.

Decidimos colocar os mesmos valores tanto no sensor direto como no esquerdo porque, à exceção da velocidade, pretendemos que as rodas tenham o mesmo comportamento.

Os valores que utilizamos para as experiências para a trajetória circular foram os seguintes:

Exp	Sensor	Min_X	Max_X	Min_Y	Max_Y	Média	Desvio Padrão	Velocidade Máxima
1	Esquerdo	0	0	0	0	0.5	0.12	5
	Direito	0	0	0	0	0.5	0.12	
2	Esquerdo	0.25	0.75	0	0	0.5	0.12	5
	Direito	0.25	0.75	0	0	0.5	0.12	
3	Esquerdo	0.25	0.75	0.05	0.6	0.5	0.12	30
	Direito	0.25	0.75	0.05	0.6	0.5	0.12	
4	Esquerdo	0	0	0.05	0.6	0.5	0.12	5
	Direito	0	0	0.05	0.6	0.5	0.12	
5	Esquerdo	0.25	0.75	0.05	0.6	0.5	0.3	30
	Direito	0.25	0.75	0.05	0.6	0.5	0.3	
6	Esquerdo	0.25	0.75	0.05	0.6	0.5	0.2	30
	Direito	0.25	0.75	0.05	0.6	0.5	0.2	
7	Esquerdo	0.25	0.75	0.05	0.6	0.5	0.05	40
	Direito	0.25	0.75	0.05	0.6	0.5	0.05	
8	Esquerdo	0.25	0.75	0.05	0.6	0.5	0	30
	Direito	0.25	0.75	0.05	0.6	0.5	0	
9	Esquerdo	0.25	0.75	0.05	0.6	0.5	0.01	30

	Direito	0.25	0.75	0.05	0.6	0.5	0.01	
10	Esquerdo	0.25	0.75	0.05	0.6	0.5	0.01	40
	Direito	0.25	0.75	0.05	0.6	0.5	0.01	
11	Esquerdo	0.25	0.75	0.05	0.6	0.6	0.12	30
	Direito	0.25	0.75	0.05	0.6	0.6	0.12	
12	Esquerdo	0.25	0.75	0.05	0.6	0.4	0.12	30
	Direito	0.25	0.75	0.05	0.6	0.4	0.12	
13	Esquerdo	0	0.75	0.05	0.6	0.5	0.12	30
	Direito	0	0.75	0.05	0.6	0.5	0.12	
14	Esquerdo	0.1	0.75	0.05	0.6	0.5	0.12	30
	Direito	0.1	0.75	0.05	0.6	0.5	0.12	
15	Esquerdo	0.3	0.75	0.05	0.6	0.5	0.12	30
	Direito	0.3	0.75	0.05	0.6	0.5	0.12	
16	Esquerdo	0.25	0.9	0.05	0.6	0.5	0.12	30
	Direito	0.25	0.9	0.05	0.6	0.5	0.12	
17	Esquerdo	0.25	0.5	0.05	0.6	0.5	0.12	30
	Direito	0.25	0.5	0.05	0.6	0.5	0.12	
18	Esquerdo	0.25	0.75	0.1	0.6	0.5	0.12	30
	Direito	0.25	0.75	0.1	0.6	0.5	0.12	
19	Esquerdo	0.25	0.75	0.05	0.8	0.5	0.12	30
	Direito	0.25	0.75	0.05	0.8	0.5	0.12	
20	Esquerdo	0.25	0.75	0.05	0.7	0.5	0.12	30
	Direito	0.25	0.75	0.05	0.7	0.5	0.12	
21	Esquerdo	0.25	0.75	0.05	0.2	0.5	0.12	30
	Direito	0.25	0.75	0.05	0.2	0.5	0.12	

Para cada experiência, os resultados foram os seguintes:

- 1- Veículo inicia a trajetória para o lado esquerdo, vai até ao centro e, após isto, realiza uma trajetória circular no sentido horário sem desvios.
- 2- Veículo não se move.
- 3- Inicialmente o veículo vai em frente atravessando a luz, até que, ao sair desta, roda e começa a fazer uma trajetória circular no sentido anti-horário sem desvios (mais afastado da luz que na experiência inicial).
- 4- Trajetória semelhante à da experiência acima, sem necessitar de uma velocidade máxima maior para observar o acontecimento.
- 5- Veículo vai em frente passando por cima da luz e, após sair desta, desvia um pouco para a direita passando para fora da barreira.
- 6- Trajetória semelhante à da experiência acima, sem passar a barreira e de forma mais lenta. Após o embate, o carro começa a fazer um círculo, mas longe da luz.
- 7- O veículo inicia a sua trajetória para o centro e, chegando lá perto, começa a descrever uma trajetória circular à volta da luz (bem mais próxima do centro que nas outras experiências acima bem-sucedidas).
- 8- Veículo não se move.
- 9- Veículo segue em frente.
- 10- Resultado incerto.
- 11- Veículo vira e segue para baixo.
- 12- Veículo inicia a trajetória para o lado esquerdo, vai até ao centro e, após isto, realiza uma trajetória circular no sentido anti-horário sem desvios próxima da luz.

- 13- Veículo segue em frente.
- 14- Veículo inicia a trajetória em frente, até que vira à esquerda e inicia uma trajetória circular no sentido anti-horário.
- 15- Veículo inicia a trajetória em frente, até que vira à direita e segue em frente até ao muro direito.
- 16- Veículo inicia a trajetória em frente, até que vira à esquerda e inicia uma trajetória circular no sentido anti-horário.
- 17- Veículo inicia a trajetória em frente, até que vira à esquerda e inicia uma trajetória circular no sentido anti-horário, porém mais lento que nas vezes anteriores.
- 18- Veículo vai em frente passando por cima da luz e, após sair desta, desvia um pouco para a direita até à barreira.
- 19- Veículo vai em frente passando por cima da luz e, após sair desta, desvia um pouco para a direita até à barreira.
- 20- Veículo faz o movimento que se pretende.
- 21- Veículo faz o movimento que se pretende, mas mais lentamente.

Com estes resultados, fica evidente que, existindo limites e limiares em simultâneo, a velocidade do veículo diminui, pelo que tivemos de utilizar uma velocidade máxima maior (constante que vai multiplicar pela velocidade). Percebemos também que diminuindo o valor da média, a trajetória fica mais afunilada, isto é, o veículo descreve um círculo mais próximo da luz.

Por outro lado, diminuindo demasiado o valor do desvio padrão, o veículo ou não gira seguindo em frente, ou descreve um comportamento difícil de prever (incerto). Ao colocar o valor do Min_X a 0, o veículo também não gira. Aumentando demasiado, flete um pouco para o sentido contrário ao pretendido e segue em frente. Já no que diz respeito ao Max_X, pelas experiências que efetuamos, quanto menor, mais lentamente o veículo se desloca.

No que diz respeito aos Y's, não podemos aumentar o Min_Y. Já o do Max_Y pode ser diminuído à vontade. Quanto menor este valor, mais lentamente o veículo se desloca.

Infinito

Tendo a trajetória do círculo a funcionar, passamos para a do infinito. Neste caso, a roda que tem de andar mais é também a que está mais afastada da luz. Para isso, cruzamos novamente os sensores e utilizamos os mesmos valores em cada um.

Estes foram os testes que efetuamos:

Exp	Sensor	Min_X	Max_X	Min_Y	Max_Y	Média	Desvio Padrão	Velocidade Máxima
1	Esquerdo	0	0	0	0	0.5	0.12	5
	Direito	0	0	0	0	0.5	0.12	
2	Esquerdo	0.25	0.75	0	0	0.5	0.12	5
	Direito	0.25	0.75	0	0	0.5	0.12	
3	Esquerdo	0	0	0.05	0.6	0.5	0.12	5
	Direito	0	0	0.05	0.6	0.5	0.12	
4	Esquerdo	0.25	0.75	0.05	0.6	0.5	0.12	30
	Direito	0.25	0.75	0.05	0.6	0.5	0.12	
5	Esquerdo	0.25	0.75	0.05	0.6	0.6	0.12	15
	Direito	0.25	0.75	0.05	0.6	0.6	0.12	
6	Esquerdo	0.25	0.75	0.05	0.6	0.5	0.15	30
	Direito	0.25	0.75	0.05	0.6	0.5	0.15	

7	Esquerdo	0.25	0.75	0.05	0.6	0.6	0.15	30
	Direito	0.25	0.75	0.05	0.6	0.6	0.15	
8	Esquerdo	0	0	0	0	0.6	0.15	5
	Direito	0	0	0	0	0.6	0.15	
9	Esquerdo	0	0.75	0.05	0.6	0.6	0.15	5
	Direito	0	0.75	0.05	0.6	0.6	0.15	
10	Esquerdo	0.4	0.75	0.05	0.6	0.6	0.15	5
	Direito	0.4	0.75	0.05	0.6	0.6	0.15	
11	Esquerdo	0.25	0.5	0.05	0.6	0.6	0.15	20
	Direito	0.25	0.5	0.05	0.6	0.6	0.15	
12	Esquerdo	0.25	0.9	0.05	0.6	0.6	0.15	30
	Direito	0.25	0.9	0.05	0.6	0.6	0.15	
13	Esquerdo	0.25	0.75	0.1	0.6	0.6	0.15	5
	Direito	0.25	0.75	0.1	0.6	0.6	0.15	
14	Esquerdo	0.25	0.75	0	0.6	0.6	0.15	5
	Direito	0.25	0.75	0	0.6	0.6	0.15	
15	Esquerdo	0.25	0.75	0.05	1	0.6	0.15	30
	Direito	0.25	0.75	0.05	1	0.6	0.15	
16	Esquerdo	0.25	0.75	0.05	0.4	0.6	0.15	30
	Direito	0.25	0.75	0.05	0.4	0.6	0.15	

Os resultados obtidos foram os seguintes:

- 1- Veículo segue em frente até à luz de cima e fica numa trajetória circular à volta desta.
- 2- Veículo não se move.
- 3- Faz o movimento que se pretende, embora com algumas deformações.
- 4- Veículo segue para cima, dá uma volta à luz, vem para baixo, passa pela luz de baixo e vai acima repetidamente. Não muda de lado entre as luzes, pelo que faz uma espécie de 8 sem passar pelo meio destas.
- 5- Veículo segue em frente até à luz de cima e fica numa trajetória circular à volta desta no sentido horário.
- 6- Veículo segue para cima, dá uma volta à luz, vem para baixo, passa pela luz de baixo e vai acima repetidamente. Não muda de lado entre as luzes, pelo que faz uma espécie de 8 sem passar pelo meio destas.
- 7- Veículo inicia a trajetória indo para cima dando a volta à luz no sentido anti-horário. Movimento pretendido.
- 8- Veículo segue em frente até à luz de cima e fica numa trajetória circular à volta desta no sentido horário.
- 9- Movimento pretendido.
- 10- Movimento pretendido, mas mais lento.
- 11- Veículo vai para baixo e realiza uma trajetória de 8 sem passar pelo meio das luzes.
- 12- Faz o movimento que se pretende, embora com algumas deformações.
- 13- Veículo realiza uma trajetória circular sob si próprio entre as luzes.
- 14- Inicia o movimento, mas fica parado ao chegar a meio da luz de cima.
- 15- Realiza o movimento pretendido com uma ou outra deformação.
- 16- Vai para a luz de baixo e realiza uma circular sob si próprio nesta luz.

Tal como no círculo, iniciamos estas experiências com os valores de exemplo do enunciado. Percebemos desde logo que, aumentando a média, o veículo afunilava a trajetória e

ficava numa trajetória circular na luz de cima. Já aumentando o valor do desvio padrão, a trajetória alargava, formando um 8 sem passar pelo meio das luzes (forma de amendoim). Posto isto, aumentamos o valor do desvio padrão e da média em simultâneo e a trajetória replicada pelo veículo foi o infinito.

Fizemos mais algumas experiências e percebemos que os mesmos valores de média e desvio padrão sem limites e limiares não funcionam (o veículo descreve uma trajetória circular à volta das luzes). Reparamos também que modificando o valor do Min_X, o veículo descreve a mesma trajetória: aumentando o valor faz mais lentamente e diminuindo faz mais rapidamente. Já modificando os outros valores, o veículo deixa de efetuar a trajetória pretendida.

Elipse

Chegados a esta fase, resta apenas replicar a trajetória da elipse. Uma vez mais, começamos por utilizar os valores de exemplo que constam no enunciado. Decidimos cruzar novamente os sensores uma vez que necessitamos que a roda mais afastada da luz ande mais rápido para o veículo curvar nas extremidades da elipse.

Exp	Sensor	Min_X	Max_X	Min_Y	Max_Y	Média	Desvio Padrão	Velocidade Máxima
1	Esquerdo	0	0	0	0	0.5	0.12	20
	Direito	0	0	0	0	0.5	0.12	
2	Esquerdo	0.25	0.75	0	0	0.5	0.12	20
	Direito	0.25	0.75	0	0	0.5	0.12	
3	Esquerdo	0	0	0.05	0.6	0.5	0.12	20
	Direito	0	0	0.05	0.6	0.5	0.12	
4	Esquerdo	0.25	0.75	0.05	0.6	0.5	0.12	20
	Direito	0.25	0.75	0.05	0.6	0.5	0.12	
5	Esquerdo	0.25	0.75	0.05	0.6	0.5	0.12	20
	Direito	0.25	0.75	0.05	0.6	0	1	
6	Esquerdo	0.25	0.75	0.05	0.6	0	1	20
	Direito	0.25	0.75	0.05	0.6	0	1	
7	Esquerdo	0.25	0.75	0.05	0.6	0.5	0.7	20
	Direito	0.25	0.75	0.05	0.6	0.5	0.7	
8	Esquerdo	0.25	0.75	0.05	0.6	0.6	0.15	20
	Direito	0.25	0.75	0.05	0.6	0.6	0.15	
9	Esquerdo	0.25	0.75	0.1	0.6	0.4	0.75	20
	Direito	0.25	0.75	0.1	0.6	0.4	1	
10	Esquerdo	0.25	0.75	0.05	0.6	0.6	0.6	20
	Direito	0.25	0.75	0.05	0.6	0.04	1	
11	Esquerdo	0.25	0.75	0.05	0.6	0.62	0.6	20
	Direito	0.25	0.75	0.05	0.6	0.042	1	
12	Esquerdo	0.25	0.75	0.05	0.6	0.62255	0.6	20
	Direito	0.25	0.75	0.05	0.6	0.042	1	
13	Esquerdo	0.25	0.75	0.05	0.6	0.62255	0.6	20
	Direito	0.25	0.75	0.05	0.42	0.042	1	
14	Esquerdo	0.25	0.75	0.05	0.6	0.62	0.6	20
	Direito	0.25	0.75	0.05	0.42	0.042	0.99	

Os resultados das experiências acima foram:

- 1- Vai em direção à luz de cima, aproxima-se e vira rapidamente para baixo. Vai para a luz de baixo de igual modo. Volta para cima e faz este movimento algumas vezes.
- 2- Veículo não se move.
- 3- Veículo segue em direção à luz de cima e, de seguida, fica numa trajetória circular no sentido anti-horário à volta desta.
- 4- Situação semelhante à de cima, porém mais lenta e não se aproxima tanto da luz.
- 5- Veículo dá voltas sob si próprio no sentido horário.
- 6- Veículo segue em frente.
- 7- Veículo segue em frente e, ao passar pela luz, curva ligeiramente para a esquerda.
- 8- Veículo segue em frente e, ao passar pela luz, tenta curvar como é suposto, mas esse movimento é ténue e volta à trajetória de contornar a luz no sentido anti-horário.
- 9- Veículo realiza movimento circular no sentido anti-horário entre as luzes.
- 10- Realiza uma elipse no sentido anti-horário, mas depois começa a alargar a trajetória.
- 11- Realiza três elipses no sentido anti-horário, mas depois começa a alargar a trajetória.
- 12- Realiza duas elipses no sentido anti-horário, mas depois começa a alargar a trajetória.
- 13- Realiza duas elipses no sentido anti-horário, mas depois começa a alargar a trajetória.
- 14- Realiza uma elipse no sentido anti-horário, mas depois começa a afunilar a trajetória.

Analisando a tabela acima fica evidente que para replicar esta trajetória decidimos colocar valores diferentes no sensor direito e no sensor esquerdo. Decidimos isto pois, após os testes iniciais, percebemos que as rodas não podiam ter o mesmo comportamento, uma vez que necessitamos que uma roda vire mais bruscamente o veículo que a outra, descrevendo assim a trajetória das extremidades da elipse.

Posto isto, e tendo encontrado valores que nos possibilitam replicar pelo menos uma elipse, tentamos adequá-los para fazer o máximo possível. Aumentando ligeiramente o valor da média do sensor direito (roda esquerda), passamos de conseguir replicar uma elipse para três. No entanto, após as três elipses, o veículo começa a alargar a sua trajetória, deixando de descrever elipses.

Pegando nestes valores, tentamos adequá-los para obter ainda mais elipses seguidas, mas sempre sem sucesso. Diminuindo ligeiramente o valor do desvio padrão no sensor direito, não só o número de elipses diminui significativamente como a trajetória passa a afunilar em vez de alargar.

Mundos

Nesta etapa do trabalho, decidimos criar três mundos: um em que dois veículos descrevem a trajetória de um trevo, outro em que dois veículos contornam as iniciais da base da matéria desta unidade curricular (IA) e, por fim, um em que cinco veículos simulam a situação de andar numa rotunda. As imagens abaixo representam o mapa do trevo:

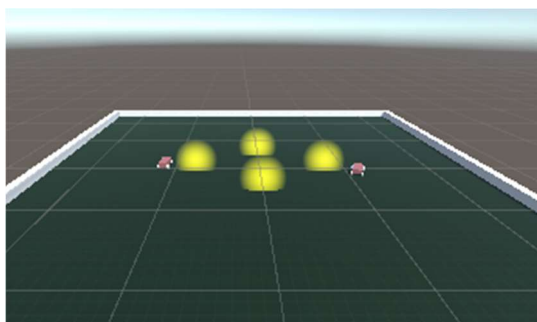


Figura 2 - Mundo que representa o trevo

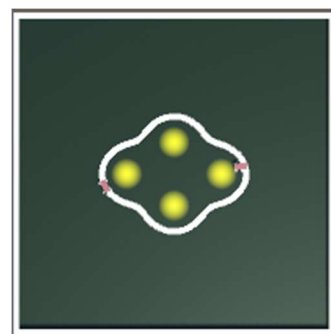


Figura 3 - Trajetória do trevo

Para replicar esta trajetória, utilizamos veículos agressores com função de ativação gaussiana. Cruzamos os sensores para que o mais próximo da luz, ligado à roda de fora, a faça andar mais rápido para curvar. Os valores para ambos os sensores são os mesmos que utilizamos para replicar o círculo (limites e limiares iguais ao exemplo do enunciado, média 0.6 e desvio padrão de 0.15). Como o veículo deteta outra luz enquanto está a descrever a trajetória circular, vai descrever a trajetória circular dessa luz e assim sucessivamente, descrevendo a forma de trevo.



Figura 4 - Trajetória IA

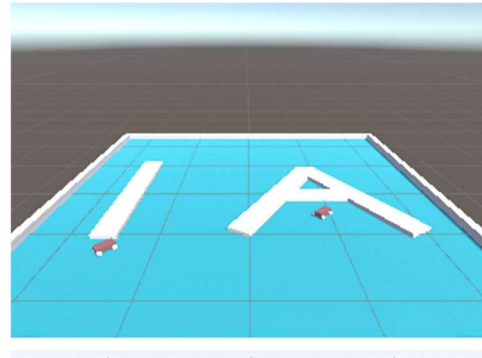


Figura 5 - Mundo representativo de IA

Este cenário é em tudo idêntico ao de cima. Ambos os veículos são agressores e utilizamos a função de ativação gaussiana com os sensores cruzados. No entanto, os valores da média e desvio padrão dos veículos são distintos (limites e limiares iguais aos do exemplo do enunciado). O que percorre a letra I tem média 0.5 e desvio padrão 0.05 em ambos os sensores. Já o veículo que percorre a letra A, sendo mais rápido, tem o sensor mais próximo da luz com média 0.5 e desvio padrão 0.12 e o sensor mais afastado com desvio padrão 1 e média 0. Isto possibilita que as rodas não tenham o mesmo comportamento e que uma vire mais bruscamente que a outra, descrevendo a trajetória acima.

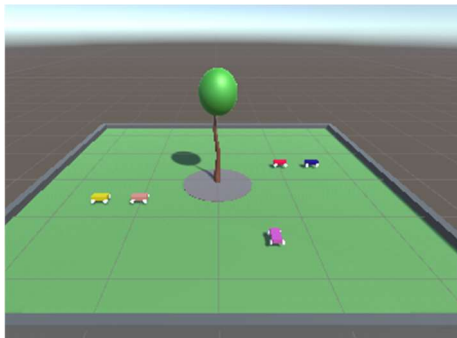


Figura 6 - Mundo representativo de uma estrada (rotunda)

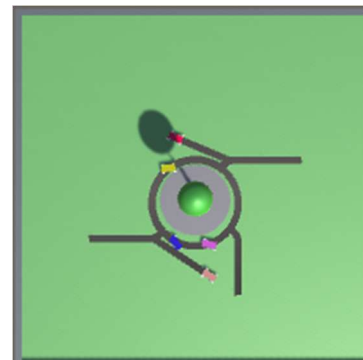


Figura 7 - Trajetória dos veículos na estrada

Neste mundo, utilizamos dois tipos de veículos: dois medrosos (vermelho e salmão) e três agressores (amarelo, azul e violeta), com função de ativação gaussiana. Os sensores nos medrosos não estão cruzados para que o mais próximo da luz faça com que a roda também mais próxima ande mais rápido, fazendo o veículo afastar-se da luz (simulando a saída de uma rotunda). Já nos agressores, os sensores estão cruzados para que o sensor mais próximo faça com que a roda de fora ande mais rápido, simulando o movimento de entrada e manutenção numa rotunda. Os valores destes veículos são os mesmos dos veículos do mundo do trevo.