



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE
COIMBRA

Departamento de Engenharia Informática

Fundamentos de Inteligência Artificial
Introdução à Inteligência Artificial
2023/2024 - 2º Semestre

Trabalho Prático N^o2:
Rolling in the Hill
Evolutionary Edition

Nota: A fraude denota uma grave falta de ética e constitui um comportamento inadmissível num estudante do ensino superior e futuro profissional licenciado. Qualquer tentativa de fraude levará à anulação da componente prática tanto do facilitador como do prevaricador, independentemente de ações disciplinares adicionais a que haja lugar nos termos da legislação em vigor. Caso haja recurso a material não original, as **fontes** devem estar explicitamente indicadas.

1 Introdução

O objetivo deste trabalho passa por desenvolver as componentes de um Algoritmo Evolucionário para criar um veículo motorizado. Para isso, iremos recorrer a um simulador virtual¹, que permite avaliar o desempenho do veículo em vários cenários.

O principal objetivo é desenvolver veículos adequados ao cenário em questão. A Figura 1 mostra um exemplo do ambiente de simulação.

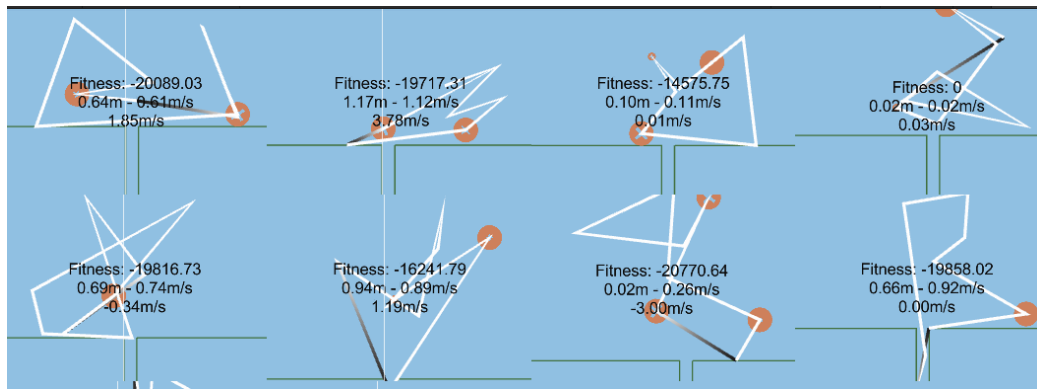


Figura 1: Exemplo do ambiente de simulação.

2 Enunciado

Este trabalho prático tem como objetivo principal a aquisição de competências de análise, desenvolvimento, implementação e teste de agentes adaptativos.

Assim, pretende-se desenvolver um Algoritmo Evolucionário (AE) que permite gerar veículos para completar um conjunto de percursos. O AE irá evoluir um conjunto de parâmetros relacionados com a estrutura do veículos (p.ex., número de rodas, posição das rodas, raio, etc.) de forma gerar veículos cada vez mais aptos.

2.1 Representação

Os veículos são formas fechadas compostas por vértices, arestas e rodas de diferentes dimensões. Os genótipos dos veículos codificam estes parâmetros através de sequências de 4 números reais, que codificam:

1. A distância a que se encontra o próximo vértice;

¹O simulador é baseado na Framework GeneticSharp desenvolvida por Diego Giacomelli

2. O ângulo para o próximo vértice;
3. O vértice onde deve ser colocada a roda;
4. O raio (tamanho) de cada roda;

Há um máximo de 14 vértices e rodas. Portanto o genótipo é composto por 56 números reais (floats). O tamanho máximo de cada roda é 9; a distância máxima entre vértices é 80. As rodas e a estrutura do veículo têm uma massa associada, pelo que o seu tamanho tem influência direta no peso do carro.

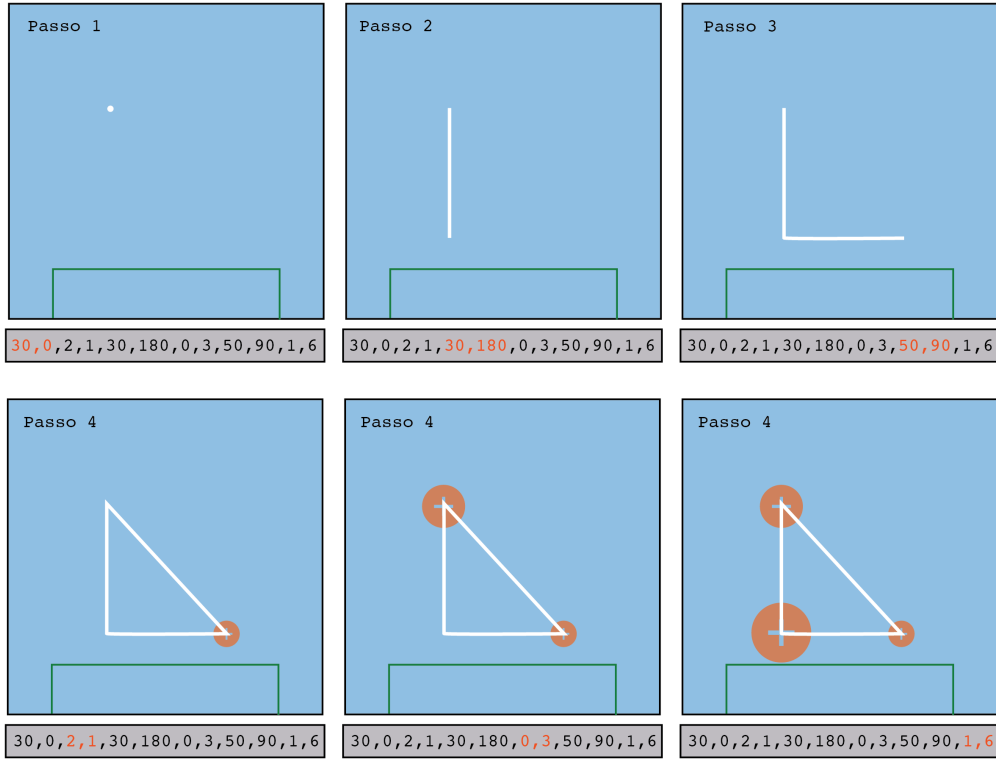


Figura 2: Mapeamento passo a passo do genótipo para um veículo.

Na prática a construção do fenótipo (indivíduo) a partir do genótipo efetua-se como se segue: Primeiro constrói-se a estrutura do carro; depois adicionam-se rodas aos vértices selecionados, com o raio indicado. A Fig. 2 ilustra o processo de mapeamento entre genótipo e fenótipo, assumindo um indivíduo com apenas 3 vértices. Note-se que a última aresta é adicionada automaticamente, para fechar a forma. A Fig. 3 apresenta um indivíduo mais complexo, resultado do processo evolucionário.

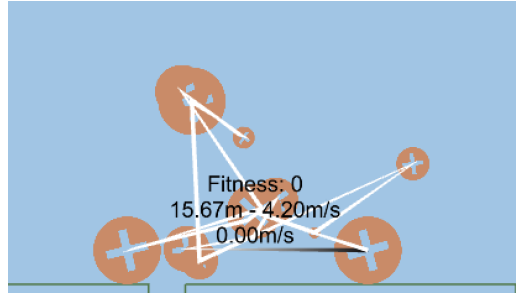


Figura 3: Fenótipo

2.2 Aptidão

Durante o processo de simulação é recolhido um conjunto de informações que sintetizam o comportamento do veículo e que são apresentadas na Tabela 1. Esta informação deve ser usada para avaliar a aptidão dos indivíduos de forma a promover a evolução do comportamento desejado. Por exemplo, se deseja um veículo que percorre uma grande distância deve valorizar a distância percorrida. Se quer um carro que percorra a máxima distância no menor tempo possível, terá que olhar para outro tipo de informação.

Tabela 1: Informação recolhida do meio ambiente.

Variável	Descrição
NumberOfWheels	Número de rodas do carro
CarMass	Massa do carro
RoadCompleted	Se conseguiu chegar ao fim do percurso (Toma o valor 1 caso o veículo chegou ao fim do percurso e 0 caso contrário)
Distance	Distância percorrida
ElapsedTime	Tempo (em segundos) que precisou para atingir a distância percorrida
Velocities	Lista de velocidades instantâneas ao longo do percurso
SumVelocities	Soma dos valores das velocidades
Accelerations	Lista de acelerações instantâneas ao longo do percurso
SumAccelerations	Soma dos valores das acelerações
Forces	Lista das forças instantâneas exercidas pelos motores das rodas ao longo do percurso
SumForces	Soma dos valores absolutos das forças; é diretamente proporcional ao consumo energético

3 Metas

O presente trabalho prático encontra-se dividido em 2 metas distintas:

1. Meta 1 – Modelação e desenvolvimento do EA. [Explicar o que implementamos](#)
2. Meta 2 – Experimentação e análise.

3.1 Meta 1 – Modelação e Desenvolvimento

A representação escolhida, os operadores genéticos, os mecanismos de seleção, e a atribuição de aptidão (*fitness*), são alguns dos componentes essenciais de um algoritmo genético. Desta forma, a etapa de **modelação** desempenha um papel fundamental no sucesso do seu algoritmo. Relativamente à representação de cada veículo, [o código fornecido considera que cada genótipo é uma lista de números reais](#). No entanto, terá de desenvolver as restantes funcionalidades básicas do EA, escolhendo quais os mecanismos mais apropriados para o problema em causa e implementando-os nos ficheiros que se encontram na pasta [EvolvingCars/Assets/EvolvingCars/TP2/](#):

Recombinação a implementar no ficheiro [Meta1/Crossover.cs](#);

Seleção de Progenitores a implementar no ficheiro [Meta1/ParentSelection.cs](#);

Mutação a implementar no ficheiro [Meta1/Mutation.cs](#);

Aptidão A função de aptidão determina a forma como os comportamentos dos veículos são valorizados, guiando o AE. [As funções de fitness devem ser implementadas no ficheiro CarFitness.cs](#).

Para além destes componentes, deve ainda [definir os parâmetros do algoritmo evolucionário](#) que devem ser configurados e alterados no ficheiro [GeneticAlgorithmConfigurations.cs](#);

Após implementadas, é vital **testar** as funcionalidades do algoritmo evolucionário por forma a garantir o seu bom funcionamento. Na primeira meta sugere-se que se foque na evolução de veículos que **consigam alcançar a meta rapidamente**.

Usando, por exemplo, o cenário **GapRoad** tente estabelecer os melhores parâmetros para taxa de mutação, recombinação e seleção de progenitores. A tabela 2 exemplifica as combinações a testar.

Dada a natureza estocástica das abordagens evolucionárias não é possível tirar conclusões a partir de uma única execução. Para cada combinação de parâmetros deverá realizar, pelo menos, **5** repetições da experiência para que a comparação efetuada tenha significado estatístico.

	Mutação	Torneio	Elitismo	Crossover	Gerações
Experiência 1	0.05	2	0	0.5	30
Experiência 2	0.02				
Experiência 3	0.05	5			
Experiência 4	0.02				
Experiência 5	0.05	2	2		
Experiência 6	0.02				
Experiência 7	0.05	5			
Experiência 8	0.02				

Tabela 2: Experiências a realizar no cenário **GapRoad**. Note que, para cada experiência deverá realizar 5 execuções da mesma.

3.2 Meta 2 – Experimentação e análise

Nesta meta deve focar-se na construção de funções de aptidão, usando a parametrização encontrada na meta anterior para evoluir veículos para cada um dos cenários disponibilizados.

Deve desenvolver funções de aptidão que permitam evoluir veículos que:

1. Consigam terminar os percursos no menor tempo possível;
2. Consigam terminar o percurso da forma mais eficiente possível (i.e. com o mínimo consumo de energia)

Durante a evolução, o genótipo dos melhores veículos é guardado na pasta do projeto. Deve usar os cenários “Evaluation” para validar e testar os veículos evoluídos.

Não basta enumerar resultados experimentais, deve fazer uma análise dos mesmos procurando explicar as diferenças encontradas e os comportamentos apresentados. Para o auxiliar nesta tarefa, o simulador guarda um conjunto de informações sobre o processo evolucionário na pasta com o nome **Results** que se encontra dentro da pasta projeto Unity. Em concreto, tem acesso a 2 ficheiros. No ficheiro **X-BestGenotype.txt** é guardado o Genótipo do melhor indivíduo na geração X, sendo possível carregá-lo nos cenários **EvaluationGap**, **EvaluationHill** e **EvaluationRockyHill** de forma a verificar o comportamento do indivíduo. No ficheiro **EvolutionLog.csv** são guardadas várias informações ao longo da evolução, tal como apresentado na Tabela 3.

Tabela 3: Informação guardada em cada geração no ficheiro EvolutionLog.csv

Variável	Descrição
Generation	Número da geração
BestFitness	Aptidão do melhor indivíduo
AverageFitnessPopulation	Aptidão média da população
BestNumberOfWheels	Número de rodas do melhor indivíduo
BestCarMass	Massa do melhor indivíduo
BestRoadCompleted	Indica se o indivíduo conseguiu, ou não, chegar ao fim da estrada
BestDistance	Distância percorrida pelo melhor indivíduo
BestEllapsedTime	Tempo (em segundos) necessário para o melhor indivíduo atingir a distância percorrida
BestSumVelocities	Soma dos valores das velocidades do melhor indivíduo
BestSumAccelerations	Soma dos valores das acelerações do melhor indivíduo
BestSumForces	Soma dos valores das forças instantâneas exercidas pelos motores do melhor indivíduo ao longo do percurso

3.3 Desafio Extra

Surpreenda-nos! Construa funções de aptidão que permitam evoluir outros tipos de veículos. Por exemplo, um limpa Neves, que arrasta consigo um grande número de blocos até ao final da pista. Ou um veículo saltitante, que passa a maior parte do tempo no ar. Ou, preferencialmente, algo que tenha um comportamento interessante e que ainda não nos tenha ocorrido. Pode ainda, construir novos cenários de teste que apresentem novos desafios.

Tal com no primeiro trabalho prático, pode atingir a cotação máxima sem executar este desafio extra, que terá uma cotação máxima de 10%.

4 Datas e Modo de Entrega

Os grupos têm uma dimensão máxima de 3 alunos. A defesa é obrigatória, bem como a presença de todos os elementos do grupo na mesma.

A entrega da meta 1 é opcional, chama-se no entanto a atenção dos alunos para a importância de concluir atempadamente esta meta. Para efeitos de nota apenas será considerada a entrega final e a defesa.

4.1 Meta 1 – Modelação e desenvolvimento

Material a entregar:

- Scripts onde implementaram e/ou alteraram código, que deve estar devidamente comentado.
- Um breve documento (max. 10 páginas), em formato pdf, com a seguinte informação:
 - Identificação dos elementos do grupo (Nomes, Números de Estudante, e-mails, Turma(s) Prática(s))
 - Informação pertinente relativamente a esta meta

Modo de Entrega:

Entrega eletrónica através do Inforestudante.

Data Limite: 28 de Abril de 2024

4.2 Meta 2 – Experimentação e análise

Tal como indicado anteriormente, esta entrega será a única que tem um impacto direto na nota. O relatório deve conter informação relativa a **todo** o trabalho realizado. Ou seja, o trabalho realizado no âmbito das metas 1 e 2 deve ser **inteiramente descrito**, por forma a possibilitar a avaliação.

Material a entregar:

- Scripts onde implementaram e/ou alteraram código, que deve estar devidamente comentado.
- Um relatório (max. 20 páginas), em formato pdf, com a seguinte informação:
 - Identificação dos elementos do grupo (Nomes, Números de Estudante, e-mails, Turma(s) Prática(s))
 - Informação pertinente relativamente à globalidade do trabalho realizado

Num trabalho desta natureza o relatório assume um papel importante. Deve ter o cuidado de descrever detalhadamente todas as funcionalidades implementadas, dando particular destaque aos problemas e soluções encontradas. Deve ser fácil ao leitor compreender o que foi feito e ter por isso capacidade de adaptar/modificar o código.

Conforme pode depreender do enunciado, **experimentação** e **análise** são parte fundamental deste trabalho prático. Assim, deve descrever de forma sucinta mas detalhada as experiências realizadas, os resultados obtidos, analisar os resultados e extrair conclusões.

O relatório deve conter informação relevante tanto da perspectiva do utilizador como do programador. Não deve ultrapassar as 20 páginas, formato A4. Todas as opções tomadas deverão ser devidamente justificadas e explicadas.

Modo de Entrega:

Entrega eletrónica através do Inforestudante.

Data Limite: 13 de Maio de 2024

5 Bibliografia

- **Inteligência Artificial: Fundamentos e Aplicações**
Ernesto Costa, Anabela Simões
- **Artificial Intelligence: A Modern Approach**
Stuart Russel, Peter Norvig