

Introdução à Inteligência Artificial

Licenciatura em Engenharia Informática, Engenharia Informática – Pós-Laboral e Engenharia Informática – Curso Europeu

2º Ano – 1º semestre

2023/2024

Trabalho Prático nº 2 *Problema de Otimização*

1. Objetivos

Conceber, implementar e testar métodos de otimização que encontrem soluções de boa qualidade para diferentes instâncias do problema a seguir descrito.

2. Subconjunto de custo mínimo

Dado um grafo e um valor inteiro k , este problema consiste em encontrar um subconjunto de vértices de tamanho k , **tal que todos os vértices possuam pelo menos uma ligação** e o custo das arestas dentro do subconjunto seja mínimo.

Formalmente o problema é definido:

Dados

- um grafo não direcionado $G = (V, A)$, composto por um conjunto V de vértices ligados entre si por arestas pesadas A
- um inteiro k

Problema:

- encontrar um subconjunto de vértices S , de tamanho k , tal que $S \subseteq V$, **com todos os vértices de S com pelo menos uma ligação**, de forma a minimizar o custo total das arestas desse subconjunto
- o objetivo deste problema é, portanto, de minimização.

Instâncias para teste

Estão disponíveis no Moodle algumas instâncias deste problema para testar os algoritmos. Os algoritmos a implementar devem estar preparados para **lidar com grafos que contenham até 500 vértices**. Os grafos estão armazenados nos ficheiros de acordo com a representação lista de adjacências.

A primeira linha contém o valor de k .

Depois disso surge uma linha iniciada por “*p edge*”, onde são indicados o número de vértices e o número de arestas.

Os vértices são identificados por números inteiros a partir de 1. Cada uma das linhas seguintes inicia-se com a letra **e** que especifica uma aresta entre dois vértices e o respetivo custo.

A seguir ilustra-se como é armazenada a informação nas instâncias de teste (ficheiros de texto disponibilizados no *Moodle*):

```
k 18
p edge 45 918
e 2 1 4
e 3 1 2
e 3 2 5
e 4 1 15
e 4 2 10
...
e 45 39 3
e 45 40 5
e 45 41 12
e 45 42 10
```

Valor de k

Grafo com 45 vértices e 918 arestas

Primeira aresta liga vértices 1 e 2 com custo 4

Segunda aresta liga vértices 1 e 3 com custo 2

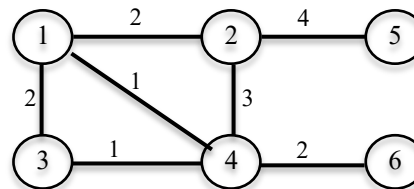
...

Última aresta liga vértices 42 e 45 com custo 10

Exemplo:

Imagine que tem um grafo V com 6 vértices e 7 arestas, com a informação representada no ficheiro abaixo (*test.txt* do Moodle). A imagem à direita ilustra o grafo. Pretende-se encontrar uma solução do problema para $k = 4$.

```
k 4
p edge 6 7
e 1 2 2
e 1 3 2
e 1 4 1
e 2 4 3
e 2 5 4
e 3 4 1
e 4 6 2
```



Para $k = 4$, considere três soluções possíveis (haverá outras):

$S1 = \{1, 2, 5, 6\}$ – solução inválida, vértice 6 não possui ligações

$S2 = \{1, 2, 3, 4\}$ – custo das arestas = 9

$S3 = \{2, 3, 4, 6\}$ – custo das arestas = 6

Como se trata de um problema de minimização, a solução **S3** será a melhor das três acima apresentadas.

Nota: na implementação dos algoritmos de otimização, aconselha-se a utilização de representação binária para as soluções.

Por exemplo, para $S1 = [1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1]$, para $S2 = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0]$, para $S3 = [0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1]$

3. Métodos de Otimização

Neste trabalho pretende-se que implemente e avalie a capacidade de diferentes algoritmos de otimização para encontrar soluções de boa qualidade para o problema descrito. Sendo assim, no seu estudo deverá implementar os 3 métodos seguintes e efetuar um estudo comparativo aprofundado sobre o desempenho da otimização. No Moodle estão disponibilizados vários ficheiros de instâncias (*test.txt*, *file1.txt*, *file2.txt*, *file3.txt*, *file4.txt* e *file5.txt*), com complexidades diferentes, para efetuar o estudo experimental dos vários algoritmos.

Os algoritmos a implementar e testar são os seguintes:

1. Algoritmo de pesquisa local (escolha um apenas entre, trepa-colinas, recristalização simulada ou outro, desde que aprovado pelo professor que lhe vai fazer a defesa)
 - Escolha uma representação apropriada para as soluções, aconselha-se a representação binária;
 - Implemente a função de avaliação apropriada ao objetivo do problema descrito;
 - Proponha estratégias para lidar com soluções inválidas (penalização, reparação, ...);
 - Devem ser exploradas pelo menos duas vizinhanças diferentes.
2. Algoritmo evolutivo
 - Use a mesma representação e a mesma função de avaliação que utilizou no algoritmo de pesquisa local;
 - Proponha estratégias para lidar com soluções inválidas (penalização, reparação, ...);
 - Devem ser explorados pelo menos dois operadores de recombinação e dois operadores de mutação diferentes;
 - Devem ser explorados dois métodos de seleção diferentes.
3. Método híbrido combinando as duas abordagens anteriores
 - Devem ser exploradas pelo menos duas abordagens híbridas diferentes usando os dois algoritmos implementados nos pontos 1 e 2.

4. Estudo experimental

O estudo experimental deve analisar os parâmetros e componentes de cada algoritmo que podem ter influência no seu desempenho.

No algoritmo de pesquisa local deve realizar o estudo experimental variando:

- Número de iterações
- Se optar pela recristalização simulada: valores de T_{min} , T_{max} , $f. arrefecimento$
- Vizinhanças
- Aceitar soluções de custo igual

No algoritmo evolutivo deve realizar o estudo experimental variando:

- Tamanho da população
- Operadores de recombinação / mutação
- Probabilidades do operador de recombinação / mutação
- Métodos de seleção
- Estratégias de penalização vs reparação para lidar com as soluções inválidas.

Abordagens híbridas

- Escolher os melhores algoritmos encontrados no estudo experimental anterior para construir as abordagens híbridas (melhor pesquisa local + melhor evolutivo)
- Comparar as duas abordagens híbridas
- Apresentar uma tabela de comparação com os resultados obtidos por:
 - Melhor pesquisa local
 - Melhor evolutivo
 - Abordagem híbrida 1
 - Abordagem híbrida 2

As experiências devem ser repetidas pelo menos 10 vezes e as conclusões do estudo devem ser baseadas na comparação dos valores médios.

5. Critérios de avaliação

- Originalidade e correção dos algoritmos implementados:
 - o Pesquisa local (10%)
 - o Algoritmo evolutivo (20%)
 - o Abordagens híbridas (10%)
- Experimentação e análise:
 - o Pesquisa local (15%)
 - o Algoritmo evolutivo (25%)
 - o Abordagens híbridas (10%)
- Documentação e defesa (10%)

6. Normas de realização do trabalho prático

- O trabalho deve ser realizado em grupos de dois alunos. Em casos excepcionais, com a permissão do docente da turma prática a que assiste, o trabalho poderá ser realizado individualmente. Confirme com o docente da turma prática que frequenta se tal situação é possível.
- Os trabalhos serão sujeitos a defesa obrigatória, em data a anunciar.
- Cotação do trabalho: **6 valores**

7. Entrega do Trabalho

- Data limite para entrega: **23h59m do dia 17 de dezembro de 2023**
- Será dada uma penalização de **25%** por cada dia de atraso;
- Deverá ser submetido um ficheiro compactado em formato ZIP, devidamente identificado com os nomes e números dos alunos que realizaram o trabalho. Esse ficheiro deverá conter o seguinte:
 - **Relatório** abordando, pelo menos, os seguintes pontos:
 - o Representação usada para o problema, descrição da função de avaliação e objetivo da otimização;
 - o Descrição dos algoritmos e/ou das heurísticas utilizadas. Explicar quais as vizinhanças, métodos de seleção e operadores genéticos implementados;
 - o Justificação das principais opções tomadas;
 - o Resultados dos testes efetuados e respetiva análise. Os resultados a mostrar no relatório devem ser apenas um resumo baseado em tabelas/gráficos apresentando médias de várias repetições e respetivas conclusões. O estudo completo deve ser anexado num ficheiro Excel.
 - **Código fonte** do programa, executável e exemplos para teste;
 - **Ficheiro Excel** com os testes realizados para cada algoritmo.
- O trabalho deve ser entregue através da plataforma *Moodle* até à data limite indicada.
- As defesas serão nas aulas práticas da semana 18 a 21 de dezembro e noutros dias a combinar caso seja necessário. As defesas são obrigatórias e serão agendadas com os professores das aulas práticas.