

8-Puzzle

Departamento de Ciência da Computação
Universidade Federal de Minas Gerais
Trabalho Prático - Grafos
Projeto e Análise de Algoritmos - 2018/2

Setembro de 2018

1 Resumo

Neste trabalho prático, você implementará um algoritmo capaz de resolver o jogo *8-puzzle*. Se você não conhece esse jogo, é possível jogá-lo em: www.mypuzzle.org/sliding. Você terá que implementar a solução, coletar resultados, e criar um relatório sobre seu trabalho.

Leia com bastante atenção este documento, que é dividido da seguinte forma:

2. **Introdução:** apresentação do problema e algumas definições teóricas
3. **Outros conceitos importantes:** conceitos relevantes para o problema e implementação
4. **Implementação:** detalhes sobre a implementação
5. **Entrada e saída:** especificação de entrada e saída e alguns casos de teste
6. **Submissão:** informações sobre a submissão
7. **Detalhes e sugestões:** questões para ficarem atentos e algumas dicas

2 Introdução

Em jogos de tipo *puzzle* o desafio geralmente é, a partir de um estado inicial, fazer uso de ações disponíveis que podem nos levar, rodada a rodada, até o estado final desejado. Assim, em jogos deste tipo, é possível definir:

- **Estado inicial:** estado inicial fornecido.
- **Ações:** todas ações possíveis de serem tomadas a partir de um estado s .
- **Estados ou espaço de estados:** todos os estados possíveis de serem alcançados a partir do estado inicial utilizando um conjunto de ações.
- **Caminho:** sequência de ações que chegam até determinado estado.
- **Custo:** custo associado a uma ação ou caminho.
- **Teste final:** determina se um estado s é ou não estado final desejado.

Uma instância do jogo N -puzzle consiste em um tabuleiro $h \times h$ com $N = h^2 - 1$ quadrados móveis, numerados de 1 a N , mais um espaço vazio, representado pelo número 0. O espaço vazio pode ser trocado com qualquer quadrado adjacente, e dado um **estado inicial** do tabuleiro, devemos encontrar uma sequência de movimentos ou **ações** que chegue até o **estado final**, isto é, o tabuleiro cujos quadrados sigam ordem numérica ascendente $(0, 1, \dots, N)$.

Neste trabalho, focaremos no caso em que $h = 3$, ou seja, no 8-puzzle. A posição do espaço em branco pode ser trocada com a de quadrados adjacentes utilizando ações em quatro direções: "*Cima*", "*Baixo*", "*Esquerda*" e "*Direita*", sendo permitido apenas uma troca de cada vez. A Figura 1 mostra um exemplo de transição de estado, no qual o estado $s_2 = 1, 2, 5, 3, 4, 0, 6, 7, 8$ é alcançado a partir de $s_1 = 1, 2, 0, 3, 4, 5, 6, 7, 8$ através de uma ação "*Cima*". O **custo** de uma mudança é sempre 1 e portanto, o custo total de um **caminho** entre dois estados é igual a quantidade de ações tomadas.

| | | |
|---|---|---|
| 1 | 2 | 5 |
| 3 | 4 | |
| 6 | 7 | 8 |

 \Rightarrow

| | | |
|---|---|---|
| 1 | 2 | |
| 3 | 4 | 5 |
| 6 | 7 | 8 |

Figura 1: Uma transição de estado no jogo 8-puzzle: o estado s_2 (à direita) é resultado de uma ação "Cima" a partir de s_1 (esquerda).

3 Outros conceitos importantes

3.1 Árvore de busca

O espaço de estados pode ser representado por uma árvore, chamada de árvore de busca, que modela a sequência de ações de um jogo. Sua raiz é o estado inicial, suas arestas as ações, e seus nós os resultados de cada ação. Os nós possuem diversos atributos como: pai, filho, profundidade, e claro, o estado associado. Com uma árvore de busca, é possível encontrar um caminho que vai desde o estado inicial até estado final, ou seja, uma **solução** do jogo.

No espaço de estados, existem três regiões:

1. Explorados: conjunto de nós visitados (e expandidos);
2. Fronteira: próximos nós a serem visitados (filhos de nós visitados/explorados);
3. Inexplorados.

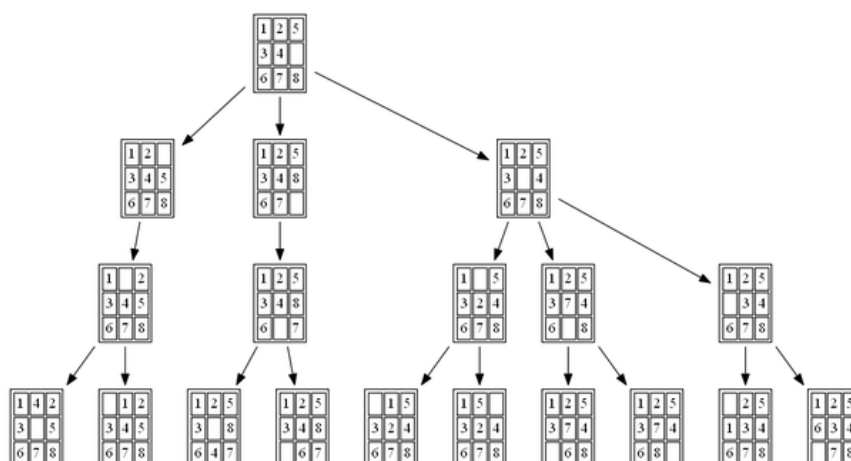


Figura 2: Exemplo de árvore de busca

A Figura 2 mostra um exemplo de árvore de busca, expandida até o terceiro nível. A raiz representa o estado inicial 1, 2, 5, 3, 4, 0, 6, 7, 8. As ações "Cima", "Baixo", "Esquerda" e "Direita" são omitidas na figura. Todos os nós com filhos são nós expandidos (no conjunto de explorados), os nós ainda não expandidos (terceiro e último nível) estão na fronteira, e quaisquer outros nós que possam entrar na árvore são inexplorados. Note que o segundo nó da esquerda do terceiro nível representa o estado final.

3.2 Algoritmo de busca

Um algoritmo de busca implementa uma estratégia para mover nós da região 3 para 2 e posteriormente 1, aonde o **teste final** é executado. No exemplo da Figura 2, o um algoritmo de busca a ser implementado deve ser capaz de encontrar um caminho como: "Cima", "Esquerda", "Esquerda", que leva a uma solução, mostrada na Figura 3.

Neste trabalho, você deve implementar um algoritmo de busca que encontre a **solução ótima** (de menor custo) de uma instância do jogo 8-puzzle caso ela exista. Lembre-se que o custo de cada ação é 1 e que uma sequência ótima nunca passa duas vezes pelo mesmo estado.

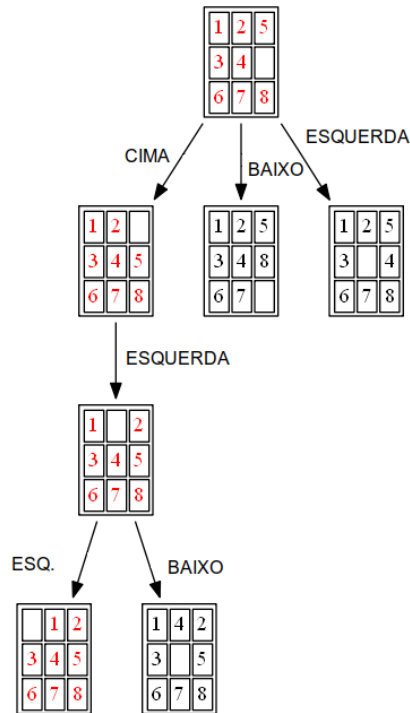


Figura 3: Exemplo de solução da instância 1, 2, 5, 3, 4, 0, 6, 7, 8 do 8-puzzle.

4 Implementação

As implementações devem ser testadas em uma máquina Linux do Departamento de Ciência da Computação de livre acesso aos alunos da pós-graduação via acesso remoto ¹. Essa é a garantia de que a implementação será compilada e executada em um ambiente conhecido pelo aluno.

Você pode implementar na linguagem de programação de sua preferência.

Não é permitido o compartilhamento de código entre os estudantes.

O código implementado deve ser compilado da seguinte maneira:

```
$ ./compilar.sh
```

O shell script "compilar.sh" deverá conter:

```
#!/bin/bash
```

```
< código para compilar seu programa >
```

O código implementado deverá ser executado com a seguinte linha de comando:

```
$ ./executar.sh entrada saída
```

O shell script "executar.sh" deverá conter:

```
#!/bin/bash
```

```
in = $1
```

```
out = $2
```

```
< código para executar o seu programa de modo que a entrada seja lida em $in e a saída em $out >
```

5 Entrada e saída

Tanto entrada quanto saída são bem simples. A entrada é composta apenas pelo estado inicial, indicado pelos números e separados por vírgula. A saída, por sua vez, deve ser da seguinte forma:

¹ <https://www.crc.dcc.ufmg.br/bc/howto/remote/ssh>

custo_total: [o número de ações tomadas para chegar ao estado final]

5.1 Exemplos

Entrada:

1,2,5,3,4,0,6,7,8

Saída:

custo_total: 3

Entrada:

6,1,8,4,0,2,7,3,5

Saída:

custo_total: 20

Entrada:

8,6,4,2,1,3,5,7,0

Saída:

custo_total: 26

Mais exemplos serão disponibilizados.

6 Submissão

Deve-se submeter um arquivo **.zip** contendo os códigos-fonte, *shell scripts* e o relatório, até as 23h55 do dia 17 de outubro de 2018 na página do curso no moodle.

6.1 Relatório

O relatório não deve exceder 10 páginas e deverá contemplar os seguintes itens:

- Introdução com explicação clara e objetiva de como o problema foi resolvido e justificativas de quaisquer decisões feitas por você no decorrer do desenvolvimento, como em relação a estruturas de dados usadas, por exemplo. Não é necessário incluir trechos do seu código, mas pode fazer se assim preferir. Utilize o que achar conveniente, seja diagramas, pseudo-códigos, figuras, etc.
- Análise de complexidade de tempo e espaço do seu algoritmo utilizando o formalismo da notação assintótica. Aqui, gere suas próprias entradas, meça o tempo de execução e consumo de memória e depois apresente os resultados da maneira que achar melhor (tabelas, gráficos, etc).
- Análise teórica de complexidade de tempo e espaço do seu algoritmo para o caso genérico do *N-puzzle* ($N = h^2 - 1$, $h = 3, 4, 5, \dots$). Nesse caso não é necessário gerar entradas, apenas resolver analiticamente.
- Questão extra (desafio): Utilize seu algoritmo para determinar o pior caso para *8-puzzle*.
- Questão extra (desafio++): Estenda seu algoritmo para solucionar de maneira ótima o *15-puzzle* e determine seu pior caso.

Para tópicos sobre complexidade assintótica, você pode fazer o número de nós em função de parâmetros como: d (profundidade da solução), b (fator de ramificação máxima dos nós ou número de ações) e m (profundidade máxima do espaço de estados).

Os dois itens extras são opcionais.

7 Detalhes e sugestões

1. Seu trabalho será avaliado a partir dos seguintes critérios:
 - A qualidade do código (código bem organizado, com comentários explicativos, variáveis com nomes intuitivos, modularidade, etc).
 - Execução correta do código em entradas de testes. Além dos casos de testes disponibilizados, serão utilizados outros casos de testes a fim de verificar a corretude da solução proposta.
 - Conteúdo do relatório, que deve conter os itens mencionados anteriormente, além do esforço em escrever um texto coeso, organizado e de fácil compreensão.
2. Diversas configurações iniciais do *8-puzzle* não são solucionáveis. Isso não afetará os exemplos deste trabalho, mas esteja ciente de que você pode encontrar um desses casos em algum momento.
3. **Inclua uma maneira de lidar com estados repetidos no seu algoritmo de busca.**
4. Mantenha variáveis que possam te ajudar no entendimento do algoritmo como o número de nós expandidos, a profundidade da busca e da solução. Elas podem também ajudar a montar o relatório.
5. Se você tiver que fazer uma escolha aleatória em relação a ordem de visita dos nós filhos, use **CBED** (Cima, Baixo, Esquerda, Direita).
6. Implemente operações com complexidade menor que linear. Você não quer operações $O(n)$, sendo o n o número de nós da árvore.
7. Mesmo quem é bastante proficiente em C, C++ ou Java pode achar mais fácil e rápido implementar em Python.
8. Após submeter seu arquivo .zip no moodle, faça o download da submissão e verifique que o mesmo não está corrompido. Não será dada segunda chance de submissão para arquivos corrompidos.
9. **Comece o trabalho o quanto antes.**