

## QXD0037 - Inteligência Artificial

### Trabalho de Implementação III – Especificação Caxeiro Viajante com Têmpera Simulada Prof. Samy Sá, 2016.2

**PUBLICAÇÃO:** 31/10/2016

**PRAZO:** 18/11/2016

---

Neste projeto, você deverá utilizar a técnica de Têmpera Simulada para atacar o problema do Caxeiro Viajante. Este documento determinará o formato de entrada e saída que seu programa deve seguir e detalha a representação de estados e operadores que devem ser implementados.

Obs.: Partes do código do primeiro trabalho servirão para a implementação desta técnica. A maior parte desta especificação será IDÊNTICA à do primeiro trabalho.

### O Problema do Caixeiro Viajante (TSP)

Enunciado: Dado um conjunto de cidades, as distâncias entre cada par destas cidades, e uma cidade inicial, encontre o menor caminho que passa exatamente uma vez por cada cidade e retorna à cidade inicial.

Para simplificar o problema, suponha que todas as cidades são conectadas. Desta forma, o mapa das cidades deve ser considerado um grafo completo em que os nós são as cidades e cada aresta representa o caminho entre as cidades em suas extremidades.

### Representação do Problema

Para aplicar a Têmpera Simulada ao TSP, considere que:

- As cidades são pontos com coordenadas  $x, y$  em um mapa (um plano).
- A distância entre quaisquer duas cidades é dada diretamente pela distância geométrica entre os pontos do plano em que as cidades estão situadas. Ou seja, dadas duas cidades com coordenadas  $(x_1, y_1)$  e  $(x_2, y_2)$ , a distância entre as cidades será dada por  $\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$ .
- Os estados do espaço de busca serão permutações na lista de cidades existentes. Em um problema com 6 cidades A,B,C,D,E,F, por exemplo, a sequência [B,D,A,F,E,C] indica o circuito que começa na cidade B, segue para D, depois para A, etc., até C e então retorna a B. Uma vez que esta sequência representa um circuito nas cidades listadas, a representação de um estado deve ser percebida como uma lista circular.
- A função heurística a ser utilizada é o custo total do circuito. Como temos um problema de minimização, um valor menor de heurística será considerado melhor.
- O estado inicial, em cada execução do algoritmo, será um estado aleatório do espaço de busca.
- Os operadores de vizinhança que consideraremos serão os mesmos que utilizamos para a Subida de Encosta.

### Formatos de entrada e saída

A entrada do programa será um arquivo com coordenadas de pontos. O arquivo terá duas linhas: a primeira terá todas as coordenadas  $x$  de cada cidade no plano e a segunda terá todas as coordenadas  $y$  de cada cidade no plano. Por exemplo, a entrada do programa pode conter o conteúdo:

0.0	1.0	2.0	0.0	1.0	1.0	3.0
0.0	2.0	0.0	2.0	1.0	3.0	2.0

O conteúdo acima indica uma entrada com 7 cidades em que as coordenadas da primeira são  $x = 0.0$  e  $y = 0.0$ , as coordenadas da segunda cidade são  $x = 1.0$  e  $y = 2.0$ , e assim por diante.

Para facilitar os cálculos de custos de circuitos no seu programa, utilize a entrada para calcular uma matriz  $M[i,j]$  das distâncias entre cada par de cidades  $i, j$ .

Para a saída do seu programa base, exiba na tela, a cada iteração do algoritmo de Têmpera Simulada, a sequência de visita das cidades no estado atual e o custo total deste circuito.

### **Variações da Implementação**

Dado um problema qualquer (tal como o TSP), a aplicação da Têmpera Simulada varia em 3 pontos: (i) qual é a heurística que utilizaremos para avaliar os estados, (ii) qual é a *função de temperatura*, e (iii) como se dá a *agenda de resfriamento*. Para este trabalho, você deve comparar diferentes combinações de funções de temperatura e agendas de resfriamento. A função heurística permanecerá a mesma que utilizamos para a Subida de Enconsta.

Seu trabalho envolve propor três funções de temperatura  $f_1, f_2, f_3$  e pelo menos duas agendas de resfriamento  $s_1$  e  $s_2$ . Você deve, então, executar simulações utilizando cada combinação de funções e agendas com os dois operadores de vizinhança que estabelecemos anteriormente. Se você propuser duas agendas de resfriamento, totalizará 12 variações da técnica para comparação. Abaixo, relembramos as especificações dos operadores de vizinhança:

Operador 1: Trocar duas cidades quaisquer de lugar. Neste operador, você deve escolher duas cidades quaisquer e trocar as duas de lugar na sequência. Por exemplo, se você tiver 6 cidades A,B,C,D,E,F e aplicar este operador para trocar as cidades D e E de lugar no estado [B,D,A,F,E,C], obterá o estado [B,E,A,F,D,C]. Você pode então calcular o custo do novo circuito e comparar ao original para determinar se este é ou não melhor.

Operador 2: Inverter trechos das permutações. Neste operador, você deve escolher duas cidades quaisquer e inverter toda a sequência que começa na primeira e vai até a segunda. No nosso exemplo com 6 cidades A,B,C,D,E,F, se aplicarmos este operador para trocar as cidades D e E de lugar no estado [B,D,A,F,E,C], obterá o estado [B,E,F,A,D,C], ou seja, todo o trecho que inicia na cidade D e vai até a cidade E será invertido. Você pode então calcular o custo do novo circuito e comparar ao original para determinar se este é ou não melhor.

Observe que a ordem em que as cidades são escolhidas para aplicar o Operador 1 não faz diferença no estado resultante, mas faz diferença na aplicação do Operador 2. Considere um exemplo com 7 cidades A,B,C,D,E,F,G e o estado [B,E,F,A,D,C,G]. Se utilizarmos o Operador 1 para trocar as cidades F,C (índices 3 e 6 do vetor) de lugar, obteremos [B,E,C,A,D,F,G], o mesmo resultado obtido se o Operador 1 receber como parâmetros as cidades C,F (índices 6 e 3 do vetor). Com o Operador 2, o comportamento é outro. Se utilizarmos o Operador 2 para trocar as cidades F,C (índices 3 e 6 do vetor) de lugar, obteremos [B,E,C,D,A,F,G], mas se o Operador 2 receber como parâmetros as cidades C,F (índices 6 e 3 do vetor), o resultado será [B,G,C,A,D,F,E], pois estaremos invertendo o trecho "C,G,B,E,F", invés do trecho "F,A,D,C".

Os critérios acima permitirão executar 12 variações da Têmpera Simulada sobre o TSP:

1. Função de temperatura  $f_1$  com vizinhança pelo Operador 1 e agenda de resfriamento  $s_1$ .
2. Função de temperatura  $f_1$  com vizinhança pelo Operador 1 e agenda de resfriamento  $s_2$ .
3. Função de temperatura  $f_1$  com vizinhança pelo Operador 2 e agenda de resfriamento  $s_1$ .
4. Função de temperatura  $f_1$  com vizinhança pelo Operador 2 e agenda de resfriamento  $s_2$ .
5. Função de temperatura  $f_2$  com vizinhança pelo Operador 1 e agenda de resfriamento  $s_1$ .

6. Função de temperatura  $f_2$  com vizinhança pelo Operador 1 e agenda de resfriamento  $s_2$ .
7. Função de temperatura  $f_2$  com vizinhança pelo Operador 2 e agenda de resfriamento  $s_1$ .
8. Função de temperatura  $f_2$  com vizinhança pelo Operador 2 e agenda de resfriamento  $s_2$ .
9. Função de temperatura  $f_3$  com vizinhança pelo Operador 1 e agenda de resfriamento  $s_1$ .
10. Função de temperatura  $f_3$  com vizinhança pelo Operador 1 e agenda de resfriamento  $s_2$ .
11. Função de temperatura  $f_3$  com vizinhança pelo Operador 2 e agenda de resfriamento  $s_1$ .
12. Função de temperatura  $f_3$  com vizinhança pelo Operador 2 e agenda de resfriamento  $s_2$ .

### Comparação Entre as Variações

Dado um arquivo de entrada com coordenadas de  $n$  cidades, seu código final deve executar cada variação acima 20 vezes (ou mais). *Atenção!* Para cada opção de estado inicial, você deve executar todas as variações que estiver avaliando. Para facilitar seu trabalho, coloque os códigos das 12 variações em um laço único que execute todos os métodos, um por vez, e rode este laço uma vez para cada escolha de estado inicial da busca. Produza um arquivo único tabulando os custos de melhor caminho encontrados e os números de iterações realizadas em cada uma das execuções da técnica. A tabela deve conter, portanto, duas colunas para cada variação da técnica (24 colunas) e uma linha para cada repetição na simulação (20 linhas). Você pode usar os números de 1 a 12 e as palavras "Custo" e "Iterações" para nomear as colunas conforme o código das variações na seção anterior.

Em um relatório curto (~3 páginas), descreva as funções de temperatura e agendas de resfriamento que escolheu para sua simulação. Justifique estas decisões, explicando, para cada função de temperatura, porquê ela pode ser utilizada na técnica e os efeitos nas variações de seus parâmetros. Explique suas escolhas nas opções de agendas de resfriamento e compare-as, apontando as intuições de cada uma e as expectativas que as diferentes agendas lhe deram *antes* das simulações. Em seguida, baseado nos resultados das suas execuções do algoritmo, forneça suas observações sobre o experimento proposto. Compare os resultados obtidos apontando, se houver, quais funções, agenda, ou operador estariam favorecendo melhores resultados para o problema.

É encorajado que execute estas variações da técnica com diferentes entradas e diferentes números de cidades. Similarmente, quando iniciar suas observações, é recomendado que considere variações de execução da técnica para tentar desafiar suas hipóteses. Em cada caso, descreva as demais variações que fez no seu relatório e os efeitos destas variações nas suas conclusões.