Universidade Federal de Uberlândia

Disciplina de Inteligência Computacional - INDIVIDUAL

Profa. Dra. Gina M. B. de Oliveira - Data de Entrega: 12/7 ou 14/7/2017

Colônia de Formigas (ACO) e o Problema do Caixeiro Viajante (PCV)

O objetivo é utilizar o Algoritmo baseado em Colônia de Formigas (técnica de Inteligência Coletiva ou Inteligência de Enxame) para encontrar a solução do problema clássico da computação conhecido por Problema do Caixeiro Viajante (PCV).

O problema do caixeiro viajante (PCV ou TSP – *Traveling Salesman Problem*) é assim definido: dado um número finito de cidades e o custo de viagem entre cada par, deve-se encontrar o caminho que passa por todas as cidades e retorna para o ponto inicial com custo mínimo, passando por cada cidade apenas uma vez. Embora seja simples de definir, o TSP é um problema combinatório clássico comprovadamente NP-Difícil com aplicações nas áreas de logística, genética, telecomunicações e neurociência, entre outras.

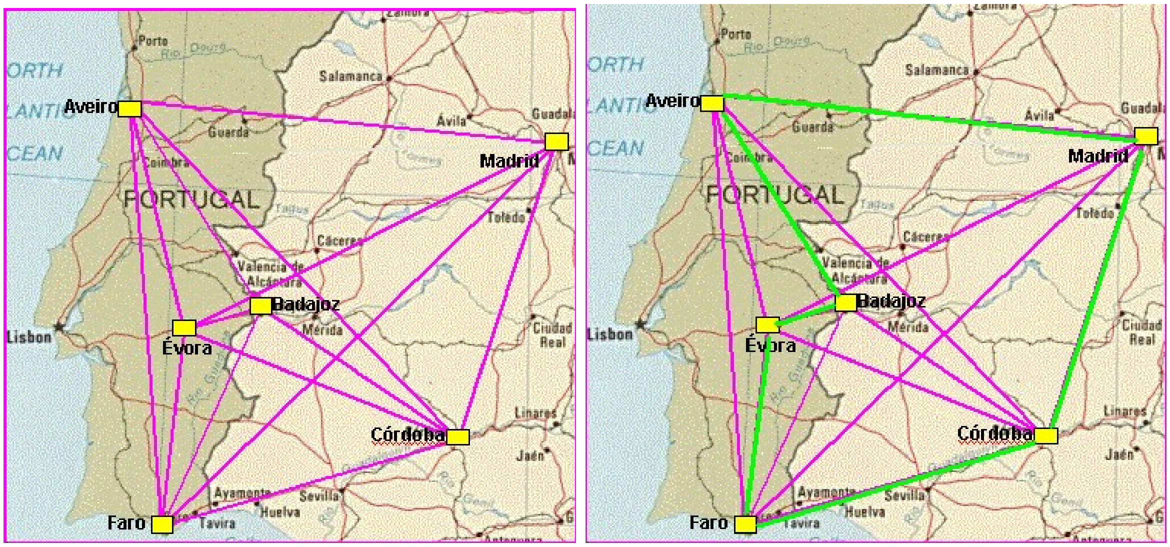
O problema do caixeiro viajante pode ser definido formalmente da seguinte maneira:

Seja $G = (V, A)$ um grafo, onde V é um conjunto de N vértices e A é um conjunto de arestas. Seja C a matriz de distâncias associada com A. O TSP consiste em determinar o menor ciclo hamiltoniano, ou seja, o menor ciclo que passa por todos os vértices somente uma vez. Um caso específico do problema do caixeiro viajante é o simétrico, onde o caminho que leva da cidade i à cidade j é o mesmo que leva da cidade j à cidade i com igual distância.

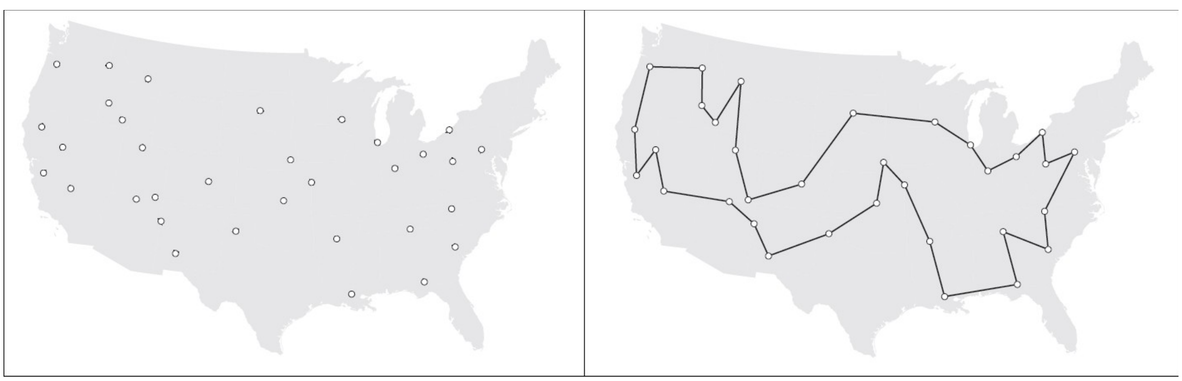
A figura a seguir apresenta uma instância do TSP com 6 cidades da Península Ibérica, sendo que nessa versão os vértices são considerados totalmente conectados e as arestas simétricas. Representa-se abaixo a respectiva rede de cidades e uma tabela das distâncias quilométricas entre elas:

	Évora	Faro	Badajoz	Córdoba	Madrid
Aveiro	353	582	372	641	559
Évora		231	99	426	502
Faro			331	326	750
Badajoz				269	403
Córdoba					424

Uma solução possível para esse problema é o circuito que se inicia em Badajoz e segue por Évora, Faro, Córdoba, Madrid, Aveiro regressando a Badajoz, num total de 2011 Km. Esse circuito está representado em verde na figura à direita.



A figura a seguir apresenta uma instância do TSP com 30 cidades, a qual ganhou destaque na década de 1960 ao ser apresentada em uma campanha de publicidade que ofereceu $10.000 para quem encontrasse o melhor resultado. O problema foi proposto de uma forma que atraiu a atenção do público: o objetivo era ajudar dois policiais a acharem a melhor rota para sua vigília noturna.



Especificação do Trabalho

1ª Parte – Implementação

Para a solução do PCV, os alunos deverão utilizar o algoritmos baseado em colônia de formigas. Deve ser implementado um ambiente computacional que, uma vez especificada a instância do PCV a ser resolvido, busque encontrar a melhor rota possível.

Deverá ser considerada a versão do PCV na qual os vértices são totalmente conectados e as arestas simétricas. Para cada instância do PCV a ser resolvida pelo ACO deverão ser fornecidos ao sistema: o número de cidades do grafo (N) e a distância associada a cada par de cidades. Essa distância pode ser fornecida de forma direta como na tabela do exemplo acima, ou através das coordenadas dessas cidades que permitam o cálculo das distâncias euclidianas entre as cidades. Por exemplo, suponha um mapa com 15 cidades que tenham as seguintes coordenadas (X,Y):

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15
X	200	300	300	1000	600	1700	1400	1200	200	1200	500	1000	1900	400	1600
Y	300	700	1700	1900	1400	1600	800	500	1000	1100	900	900	1000	500	200

Para se obter a distancia de cada par de cidades é necessário calcular a distância euclidiana entre as duas cidades. Por exemplo, d(C1,C2) = 412,31 km. O ambiente implementado deve prever os dois tipos de entrada:
(1) valores das distâncias das arestas informados de forma direta,
(2) valores das coord. (X,Y) das cidades informadas para cálculo das distâncias euclidianas.

Os alunos devem executar 50 execuções de cada algoritmo em cada instância avaliada do PCV para obter uma análise estatística do desempenho dos algoritmos nesse problema, apresentando as conclusões dessa análise em seu relatório.

Quatro instancias do PCV apresentadas no anexo devem ser avaliadas. Outras instâncias (não é obrigatório) podem ser encontradas no TSPLIB, que é um repositório de dados com várias fontes e tipos de exemplos relacionados ao problema do caixeiro viajante (Travel Sallesman Problem) [G. Reinelt. TSPLIB, 1991]. Os arquivos fornecidos seguem uma padronização específica, onde o ótimo global e o melhor caminho é conhecido. Entretanto, é importante observar que o padrão dos dados de entrada varia de exemplo para exemplo, mas está tudo explicado no site.

ANEXO:

As quatro instâncias do PCV obrigatórias são:

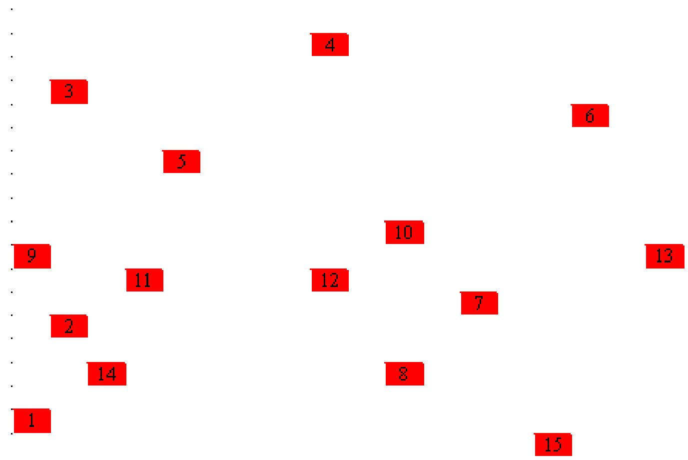
1- **M6:** mapa Portugal/Espanha definido acima com 6 cidades onde as distâncias entre as cidades foram fornecidas em tabela. Melhor resultado conhecido: 2011 km.

	Évora	Faro	Badajoz	Córdoba	Madrid
Aveiro	353	582	372	641	559
Évora		231	99	426	502
Faro			331	326	750
Badajoz				269	403
Córdoba					424

2- **M15:** mapa hipotético de 15 cidades, com as coordenadas dadas abaixo.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15
X	200	300	300	1000	600	1700	1400	1200	200	1200	500	1000	1900	400	1600
Y	300	700	1700	1900	1400	1600	800	500	1000	1100	900	900	1000	500	200

Visualmente, esse mapa teria a seguinte forma:



3- **M29:** mapa real com 29 cidades cujas coordenadas (X,Y) são dadas a seguir:

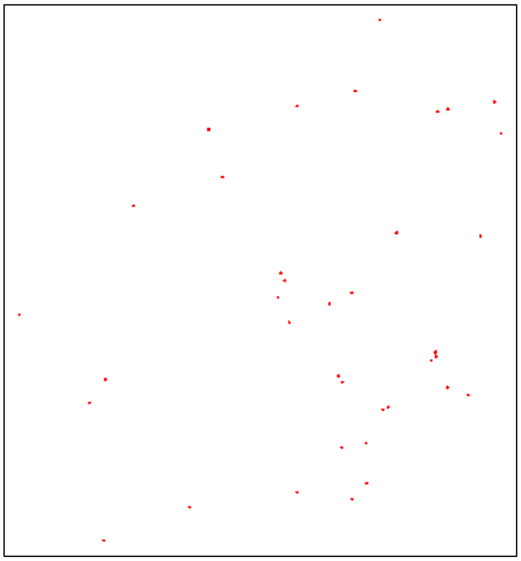
1	20833.3333	17100.0000
2	20900.0000	17066.6667
3	21300.0000	13016.6667
4	21600.0000	14150.0000
5	21600.0000	14966.6667
6	21600.0000	16500.0000
7	22183.3333	13133.3333
8	22583.3333	14300.0000
9	22683.3333	12716.6667
10	23616.6667	15866.6667
11	23700.0000	15933.3333
12	23883.3333	14533.3333
13	24166.6667	13250.0000
14	25149.1667	12365.8333
15	26133.3333	14500.0000
16	26150.0000	10550.0000
17	26283.3333	12766.6667
18	26433.3333	13433.3333
19	26550.0000	13850.0000
20	26733.3333	11683.3333
21	27026.1111	13051.9444
22	27096.1111	13415.8333
23	27153.6111	13203.3333
24	27166.6667	9833.3333
25	27233.3333	10450.0000
26	27233.3333	11783.3333
27	27266.6667	10383.3333
28	27433.3333	12400.0000
29	27462.5000	12992.2222

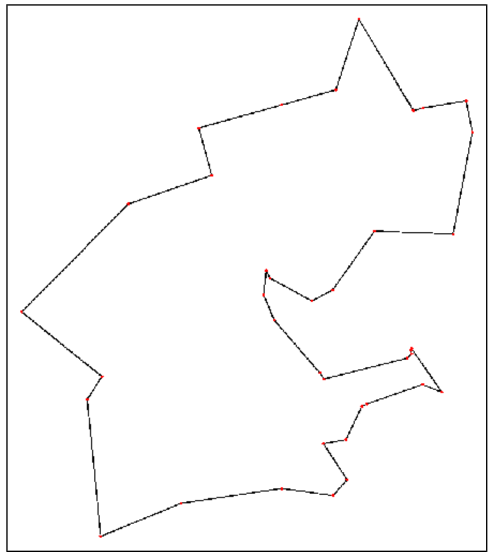
Melhor resultado conhecido para M29: 27603

4- **M38:** mapa real com 38 cidades cujas coordenadas (X,Y) são dadas a seguir:

```
1 11003.611100 42102.500000
2 11108.611100 42373.888900
3 11133.333300 42885.833300
4 11155.833300 42712.500000
5 11183.333300 42933.333300
6 11297.500000 42853.333300
7 11310.277800 42929.444400
8 11416.666700 42983.333300
9 11423.888900 43000.277800
10 11438.333300 42057.222200
11 11461.111100 43252.777800
12 11485.555600 43187.222200
13 11503.055600 42855.277800
14 11511.388900 42106.388900
15 11522.222200 42841.944400
16 11569.444400 43136.666700
17 11583.333300 43150.000000
18 11595.000000 43148.055600
19 11600.000000 43150.000000
20 11690.555600 42686.666700
21 11715.833300 41836.111100
22 11751.111100 42814.444400
23 11770.277800 42651.944400
24 11785.277800 42884.444400
25 11822.777800 42673.611100
26 11846.944400 42660.555600
27 11963.055600 43290.555600
28 11973.055600 43026.111100
29 12058.333300 42195.555600
30 12149.444400 42477.500000
31 12286.944400 43355.555600
```

```
32 12300.000000 42433.333300
33 12355.833300 43156.388900
34 12363.333300 43189.166700
35 12372.777800 42711.388900
36 12386.666700 43334.722200
37 12421.666700 42895.555600
38 12645.000000 42973.333300
```





Melhor resultado conhecido para M38: 6656