



Universidade do Minho

Licenciatura em Engenharia Informática

Inteligência Artificial

Trabalho Prático - Grupo 17

Diogo Marques - A100897

Lingyun Zhu - A100820

Diogo Matos - A100741

2 de janeiro de 2024

Índice

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Introdução | 2 |
| 2 | Descrição do Problema | 3 |
| 3 | Formulação do Problema | 4 |
| | 3.1 Tipo de Problema | 4 |
| | 3.2 Representação do Estado | 4 |
| | 3.3 Estado Inicial | 5 |
| | 3.4 Estado Objetivo | 5 |
| | 3.5 Operadores | 5 |
| | 3.6 Custo da Solução | 6 |
| 4 | Estratégias Adotadas | 7 |
| | 4.1 Identificação dos Caminhos | 7 |
| | 4.2 Procura com Recursos Limitados | 7 |
| | 4.3 Procura com Recursos Ilimitados | 8 |
| 5 | Discussão dos Resultados | 10 |
| 6 | Conclusão | 12 |

Introdução

No âmbito da Unidade Curricular de Inteligência Artificial foi-nos solicitada a implementação de um sistema capaz de distribuir diversas encomendas ao longo de um mapa, de modo a que os custos associados às deslocações fosse o mínimo possível.

Numa primeira abordagem deste problema, poderíamos centrar-nos única e exclusivamente nas distâncias que separam os vários pontos do mapa, contudo isso não reflete grande parte dos problemas reais, como garantir a entrega atempada das encomendas, e a acomodação das mesmas nas viaturas.

Posto isto, ao longo deste relatório pretendemos apresentar todas as estratégias que adotámos perante as várias dificuldades com as quais nos fomos deparando, além disso, convém ainda realçar alguns tópicos definidos por nós, dada a ambiguidade do enunciado em determinados setores.

Descrição do Problema

Tal como seria expectável num problema deste género, a entrega das encomendas é o fator preponderante no momento de decidirmos se uma determinada distribuição é válida, desta forma podemos concluir que no conjunto das soluções válidas todas as encomendas são entregues a tempo.

Apesar de existirem múltiplas soluções, apenas uma pode ser considerada enquanto ótima, como tal cada distribuição possui um dado custo que reflete os níveis de poluição gerados durante a satisfação dos pedidos, custo esse que varia conforme os veículos utilizados e as distâncias percorridas.

Ainda dentro deste tema, e de modo a tornar o problema mais realista, os veículos utilizados pelos estafetas possuem algumas restrições de carga que limitam o número de encomendas transportadas, além disso a velocidade de deslocação aumenta à medida que as entregas vão sendo realizadas, dado que o peso total da mercadoria diminui.

Assim sendo, a partir de um conjunto limitado de recursos e um determinado número de encomendas, devemos ser capazes de verificar se é possível satisfazer todas as entregas, e posteriormente associar os serviços aos estafetas, por forma a que estes percorram os melhores caminhos e consequentemente diminuam a poluição gerada.

Formulação do Problema

Antes de iniciarmos a implementação de uma solução propriamente dita, é necessário que o problema seja caracterizado de um modo mais conciso, visto que isso permite-nos obter uma visão mais objetiva, e por conseguinte identificar uma série de estratégias viáveis à resolução do mesmo.

Tipo de Problema

- **Estado único:** o estafeta conhece exatamente o seu estado atual e sabe qual será o estado objeto, pelo que a solução é uma sequência de ações.
- **Determinístico:** a execução de uma ação produz sempre o mesmo resultado, como tal é possível antever um leque de estados possíveis.
- **Informação perfeita:** em cada momento o estafeta possui acesso total às informações do ambiente, o que permite a tomada das melhores decisões.

Representação do Estado

O estado do problema é constituído por todas as cidades presentes no sistema de distribuição, dado que só dessa forma é possível alcançar os locais onde as encomendas devem ser entregues.

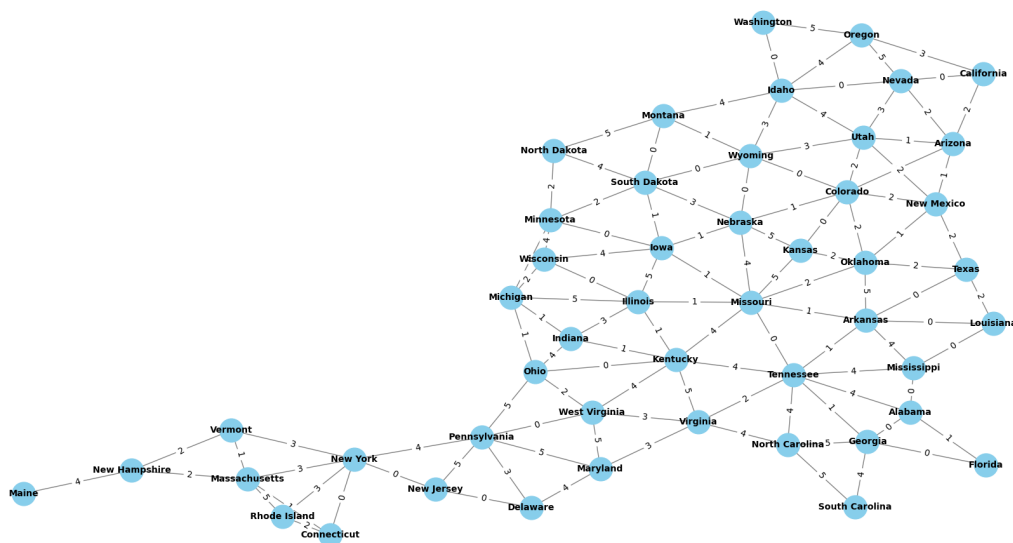


Figura 1. Representação dos estados sob a forma de grafo

Estado Inicial

Os estafetas possuem um ponto de partida que pode corresponder a qualquer ponto do mapa, assim sendo os agentes do problema estão espalhados ao longo do ambiente, e por conseguinte o estado inicial é variável.

Estado Objetivo

Cada estafeta tem como objetivo entregar as encomendas que lhe foram atribuídas, e depois disso voltar ao ponto de partida, contudo deve garantir que o seu veículo tem condições para albergar as encomendas, bem como assegurar a entrega atempada destas.

Operadores

Em qualquer problema, os operadores são responsáveis por possibilitarem a transição entre estados, como tal torna-se fundamental a definição de ações que permitam a atribuição e distribuição de encomendas, visto ser essa a principal questão em causa.

Mudar de Cidade

- **Pré-condição:** a cidade na qual o estafeta se encontra possui outras adjacentes.
- **Efeito:** o estafeta desloca-se entre as cidades, e desse modo altera o seu estado.

Atribuir Encomenda

- **Pré-condição:** o estafeta encontra-se no ponto de partida (não iniciou o processo de distribuição), e o seu veículo tem capacidade para acomodar a encomenda em causa.
- **Efeito:** a encomenda fica associada ao estafeta e a capacidade de transporte diminui.

Entregar Encomenda

- **Pré-condição:** o estafeta alcançou o local de entrega antes do prazo limite terminar.
- **Efeito:** o serviço é dado por concluído e o estafeta procede ao restante trabalho.

Custo da Solução

A deslocação entre cidades obriga a que seja percorrida uma determinada distância, consequentemente é gerada uma certa quantidade de poluição que varia conforme o tipo de viatura utilizado.

Deste modo, o custo da solução corresponde ao somatório da poluição produzida pelos estafetas, após estes satisfazerem todas as encomendas e voltarem ao seu ponto de partida.

Estratégias Adotadas

Apesar da distribuição de entregas poder parecer algo relativamente simples, tal não é verdade, visto que tanto a atribuição dos serviços como a definição das rotas estão associadas ao problema em questão.

Assim sendo, e depois de pensarmos bastante sobre assunto, chegamos à conclusão que seria praticamente impossível caracterizarmos um algoritmo capaz de lidar com estas situações todas em simultâneo.

Posto isto, a nossa estratégia de implementação passou essencialmente por testar todas as combinações possíveis de atribuições de serviços a estafetas, sendo que dessa forma é facilmente identificada aquela com menor custo.

Identificação dos Caminhos

No momento em que o mapa das cidades é carregado, o mesmo é convertido para um grafo a fim de serem identificados os melhores caminhos entre dois pontos em específico.

Desta forma, e tendo em conta que desconhecemos as cidades referidas nas entregas, optámos por calcular os melhores caminhos entre todos os vértices do grafo, tarefa que é feita com recurso ao algoritmo de *dijkstra*.

Embora este processo possa parecer bastante moroso, acreditamos que a sua execução é viável, uma vez que a rapidez do *hardware* atualmente existente soluciona um grafo com centenas de vértices em milésimas de segundo.

Procura com Recursos Limitados

Tendo o grafo carregado em memória, podemos iniciar a fase de atribuição de entregas aos estafetas, e por conseguinte determinar a melhor distribuição face aos recursos disponíveis (estafetas e respetivas viaturas).

Tal como referido anteriormente, é praticamente impossível encontrar uma forma inteligente de fazer a distribuição das entregas pelos estafetas, tornando assim obrigatório o teste de todas as possibilidades.

Posto isto, numa situação em que existam dois estafetas e três encomendas, são executadas oito simulações, ou seja, o número de estafetas elevado ao número de encomendas, o que evidencia claramente a pouca escalabilidade desta estratégia.

| | |
|-----------------------------|-----------------------------|
| Estafeta 1: ('A', 'B', 'C') | Estafeta 2: () |
| Estafeta 1: ('A', 'B') | Estafeta 2: ('C') |
| Estafeta 1: ('A', 'C') | Estafeta 2: ('B') |
| Estafeta 1: ('A') | Estafeta 2: ('B', 'C') |
| Estafeta 1: ('B', 'C') | Estafeta 2: ('A') |
| Estafeta 1: ('B') | Estafeta 2: ('A', 'C') |
| Estafeta 1: ('C') | Estafeta 2: ('A', 'B') |
| Estafeta 1: () | Estafeta 2: ('A', 'B', 'C') |

Um ponto que importa realçar na distribuição das encomendas, diz respeito ao facto de haver uma preservação da ordem temporal, ou seja, se a encomenda *A* deve ser entregue antes da *B*, então esta última nunca será atribuída, e eventualmente satisfeita, antes da *A*.

Como tal, e a partir do conhecimento que temos do grafo, é admissível calcular o custo de cada distribuição, sendo que o mais favorável é apresentado ao utilizador enquanto solução ótima do problema (situações impossíveis resultam num custo infinito).

Procura com Recursos Ilimitados

Por forma a tornar o problema mais desafiante, decidimos desenvolver uma estratégia que procura a solução ideal da distribuição de entregas, ou seja, uma solução que não esteja limitada pelos recursos existentes.

Porém, ao contrário do que acontecia anteriormente, torna-se necessário estabelecer um ponto de partida único, visto que sem essa restrição seriam criados tantos estafetas quanto o número de encomendas, e a posição inicial de cada um corresponderia ao local de entrega, o que resultaria inevitavelmente num custo de solução nulo.

Considerando que o único fator limitante deste subproblema é a quantidade de encomendas, podemos criar um conjunto de pseudo-estafetas que possuem todas as combinações de viaturas, sendo que a partir daí os recursos humanos tornaram-se ficticiamente limitados e a estratégia anterior é facilmente aplicável.

O conjunto de pseudo-estafetas é relativamente simples de criar, contudo devemos ter em atenção que cada combinação possui um comprimento igual ao número de encomendas existentes, visto que no caso extremo é atribuído um estafeta por encomenda.

```
('Carro', 'Carro', 'Carro')
('Carro', 'Carro', 'Scooter')
('Carro', 'Carro', 'Bicicleta')
('Carro', 'Scooter', 'Scooter')
('Carro', 'Scooter', 'Bicicleta')
('Carro', 'Bicicleta', 'Bicicleta')
('Scooter', 'Scooter', 'Scooter')
('Scooter', 'Scooter', 'Bicicleta')
('Scooter', 'Bicicleta', 'Bicicleta')
('Bicicleta', 'Bicicleta', 'Bicicleta')
```

Assim sendo, para cada uma das combinações será aplicada a estratégia anterior, e o custo ótimo acabará por ser descoberto após imensas computações, pois se o outro problema era pouco escalável, este é muito menos, revelando inclusive uma complexidade exponencial.

Em suma, a execução da procura com recursos ilimitados não é de todo praticável, dada a quantidade de possibilidades existentes, contudo julgamos ser uma mais-valia, uma vez que permite-nos ter uma ideia do quão longe uma dada solução se encontra do ótimo.

Discussão dos Resultados

Tendo percebido claramente de que forma as soluções do problema são obtidas, podemos antever um custo computacional demasiado elevado, chegando inclusive a um ponto no qual nenhum computador comum encontra a solução ótima em tempo útil.

Perante isto, e com o objetivo de percebermos qual seria esse ponto de rotura, efetuámos alguns testes de desempenho que expressam na perfeição a complexidade exponencial da estratégia adotada.

| Procura com Recursos Limitados | | | |
|--------------------------------|------------|-----------|-----------|
| Estafetas | Encomendas | Iterações | Tempo (s) |
| 3 | 7 | 2187 | 0.033 |
| 3 | 8 | 6561 | 0.098 |
| 3 | 9 | 19683 | 0.329 |
| 4 | 7 | 16384 | 0.142 |
| 4 | 8 | 65536 | 0.949 |
| 4 | 9 | 262144 | 4.202 |

Ao analisarmos os resultados, percebemos claramente que o número de iterações está dependente da quantidade de estafetas e encomendas, sendo que os estafetas são mais preponderantes.

Além disso, fica evidente que a partir das 200 mil iterações a procura de soluções começa a tornar-se insustentável, sendo que nos casos extremos o sistema operativo aborta a execução, dada a quantidade de recursos computacionais exigidos.

| Procura com Recursos Ilimitados | | |
|---------------------------------|-----------|-----------|
| Encomendas | Iterações | Tempo (s) |
| 3 | 270 | 0.003 |
| 4 | 3840 | 0.052 |
| 5 | 65625 | 0.947 |
| 6 | 1306368 | 21.033 |
| 7 | 29647548 | abortado |

No caso da procura com recursos ilimitados, o único fator decisivo é a quantidade de encomendas, todavia percebemos de igual modo que o fator de complexidade é bastante superior ao do caso anterior, sendo que para sete encomendas torna-se completamente impensável encontrar a solução ótima.

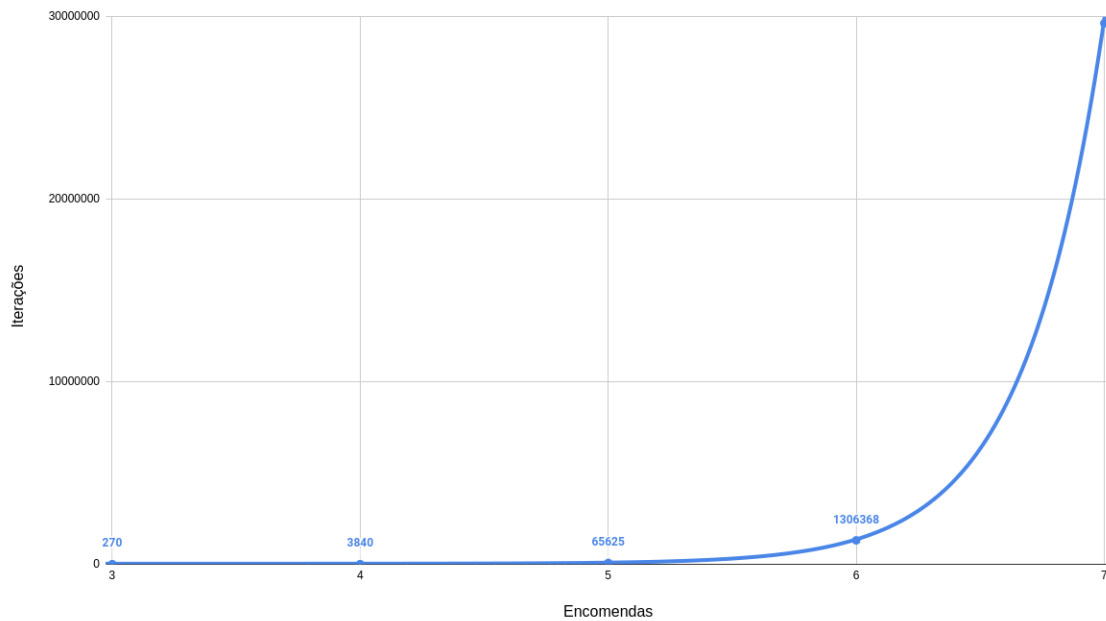


Figura 2. Regressão exponencial da complexidade

Em suma, os dois tipos de procura desenvolvidos são bastantes dispendiosos e seguramente não têm qualquer aplicação prática no caso de grandes distribuições, todavia foram as únicas estratégias que encontrámos face à dificuldade de serem obtidas boas heurísticas.

Conclusão

Chegados a este ponto, e tendo em consideração o trabalho desenvolvido, julgamos ter cumprido com praticamente todos os pontos mencionados no enunciado, sendo de realçar a representação do problema sob a forma de grafo, a identificação dos melhores caminhos, e a aplicação de algoritmos de procura não informada.

Todavia fica de igual modo evidente a nossa incapacidade em aplicarmos estratégias de procura informada, dada a complexidade das heurísticas que seriam eventualmente precisas.

A princípio pensámos que a distância entre dois pontos poderia servir como heurística, contudo isso não reflete se é possível chegarmos atempadamente ao destino, e tampouco indica o melhor estafeta para o cumprimento da tarefa.

Assim sendo, fomos impelidos a testar todas as possibilidades, o que à partida não parece estar sequer relacionado com inteligência artificial, mas em simultâneo é a mesma estratégia adotada pelo *minimax*.

Posto isto, e apesar do incumprimento dalguns requisitos, acreditamos que este trabalho prático foi útil, no sentido em que serviu para aprofundar alguns conceitos que ficaram menos claros numa primeira abordagem, e além disso permitiu-nos obter uma visão mais ampla daquilo que verdadeiramente é a inteligência artificial.