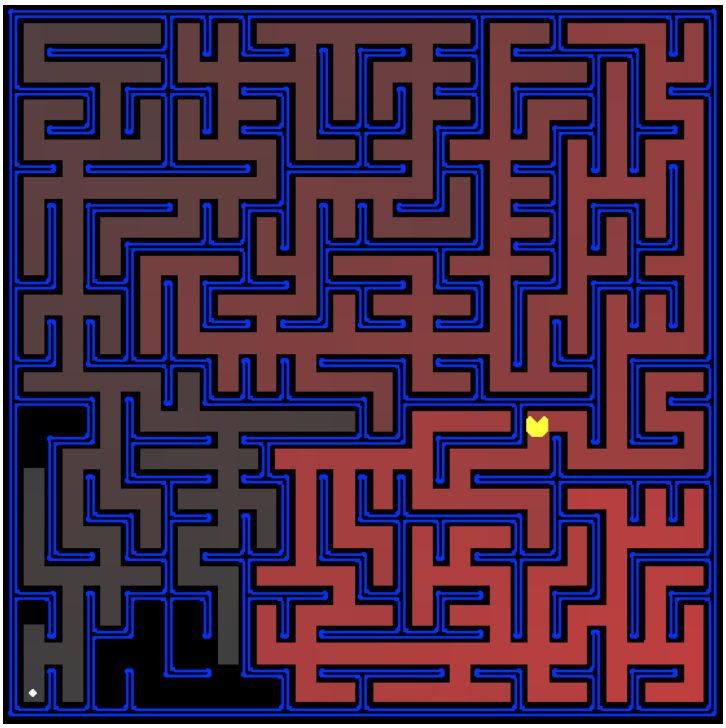
Trabalho 1: Busca no Pacman

Este trabalho é parte do Pacman Project desenvolvido na UC Berkeley disciplina CS188 – Artificial Intelligence. Tradução realizada pelo professor Eduardo Bezerra (ebezerra@cefet-rj.br, CEFET/RJ).



Introdução

Neste trabalho, o agente Pacman tem que encontrar caminhos no labirinto, tanto para chegar a um destino quanto para coletar comida eficientemente. O objetivo do trabalho será programar algoritmos de busca e aplicá-los ao cenário (mundo) do Pacman.

Este projeto inclui um autoavaliador (*autograder*) para você avaliar suas respostas em sua máquina. Isso pode ser executado com o comando a seguir:

```
python autograder.py
```

O código fornecido nesse trabalho consiste de diversos arquivos Python, alguns dos quais você terá que ler e entender para fazer o trabalho. O código está no Moodle, arquivo **search.zip**.

Arquivos que devem ser editados:	
search.py	Onde ficam os algoritmos de busca.
searchAgent.py	Onde ficam os agentes baseados em busca.

Arquivos que devem ser lidos:	
pacman.py	O arquivo principal que roda jogos de Pacman. Esse arquivo também descreve o tipo GameState, que será amplamente usado nesse trabalho.
game.py	A lógica do mundo do Pacman. Este arquivo descreve vários tipos auxiliares como AgentState, Agent, Direction e Grid.
util.py	Estruturas de dados úteis para implementar algoritmos de busca.
Arquivos que podem ser ignorados:	
graphicsDisplay.py	Visualização gráfica do Pacman
graphicsUtils.py	Funções auxiliares para visualização gráfica do Pacman
textDisplay.py	Visualização gráfica em ASCII para o Pacman
ghostAgents.py	Agentes para controlar fantasmas
keyboardAgents.py	Interfaces de controle do Pacman a partir do teclado
layout.py	Código para ler arquivos de layout e guardar seu conteúdo
autograder.py	Projeto autograder
testParser.py	Analisa arquivos de solução e teste autograder
testClasses.py	Classes de teste de classificação automática geral
test_cases	Diretório contendo os casos de teste para cada questão
searchTestClasses.py	Classes de teste de avaliação automática específicas do Projeto 1

Especificações da entrega

Você deve entregar um único arquivo compactado contendo os seguintes itens:

1. Os arquivos **search.py** e **searchAgents.py** alterados durante esse trabalho. Não entregue outros arquivos fonte além desses dois

2. Um relatório (necessariamente em formato PDF). Nesse relatório, explicite as respostas às perguntas listadas abaixo. O relatório deve apresentar análise e explicação dos resultados obtidos, assim como deve apresentar descrições das partes relevantes do código implementado.

Este trabalho é individual. Seu trabalho deve ser submetido pelo Moodle até o prazo final estabelecido na página do curso.

Bem-vindo ao Pacman

Depois de baixar o código (**search.zip**), descompactá-lo e entrar no diretório *search*, você pode jogar um jogo de Pacman digitando a seguinte linha de comando:

```
python pacman.py
```

O agente mais simples em **searchAgents.py** é `GoWestAgent`, que sempre vai para oeste. Trata-se de um agente reflexivo trivial. Este agente pode ganhar às vezes:

```
python pacman.py --layout testMaze --pacman GoWestAgent
```

Mas as coisas se tornam mais difíceis quando virar é necessário:

```
python pacman.py --layout tinyMaze --pacman GoWestAgent
```

Repare que o *script* **pacman.py** tem opções de comando que podem ser dadas em formato longo (por exemplo, `--layout`) ou em formato curto (por exemplo, `-l`). A lista de todas as opções pode ser vista executando:

```
python pacman.py -h
```

Todos os comandos que aparecem aqui também estão no arquivo **commands.txt**, e podem ser copiados e colados para execução.

Pseudocódigo da busca em árvore

Para as implementações dos algoritmos de busca nas questões de Q1 até Q3, você implementará o seguinte pseudocódigo:

```
Algoritmo GRAPH_SEARCH:

frontier = {startNode}
expanded = {}
while frontier is not empty:
    node = frontier.pop()
    if isGoal(node):
        return path_to_node
    if node not in expanded:
        expanded.add(node)
        for each child of node's children:
            frontier.push(child)
return failed
```

Q1 (4 pontos) - Encontrando comida usando DFS

No arquivo **searchAgents.py**, você irá encontrar o programa de um agente de busca (`SearchAgent`), que planeja um caminho no mundo do Pacman e executa o caminho passo-a-

passo. Os algoritmos de busca para planejar o caminho não estão implementados -- este será o seu trabalho. Para entender o que está descrito a seguir, pode ser necessário olhar o **glossário** disponível no fim deste documento. Primeiro, verifique que o agente de busca `SearchAgent` está funcionando corretamente, rodando:

```
python pacman.py -l tinyMaze -p SearchAgent -a fn=tinyMazeSearch
```

O comando acima faz o agente `SearchAgent` usar o algoritmo de busca implementado na função denominada `tinyMazeSearch`, que está implementada em **search.py**. O Pacman deve navegar o labirinto corretamente.

Para implementar os seus algoritmos de busca para o Pacman, use os pseudocódigos dos algoritmos de busca que estão no livro-texto. Lembre-se de que um nó da busca deve conter não só o estado, mas também toda a informação necessária para reconstruir o caminho (sequência de ações) até aquele estado.

Importante: Todas as funções de busca devem retornar uma lista de *ações* que irão levar o agente do início até o objetivo. Essas ações devem ser legais (direções válidas, sem passar pelas paredes).

Dica: Os algoritmos de busca são muito parecidos em sua implementação. Os algoritmos de busca em profundidade (DFS), busca em extensão (BFS), busca de custo uniforme (BFS) e A* diferem somente na ordem em que os nós são retirados da borda. Então o ideal é tentar implementar a busca em profundidade corretamente e depois será mais fácil implementar as outras. Uma possível implementação é criar um algoritmo de busca genérico que possa ser configurado com uma estratégia para retirar nós da borda. (Porém, implementar dessa forma não é necessário).

Dica: Dê uma olhada no código dos tipos `Stack` (pilha), `Queue` (fila) e `PriorityQueue` (fila com prioridade) que estão no arquivo **util.py**.

Implemente o algoritmo de busca em profundidade (DFS) na função `depthFirstSearch` do arquivo **search.py**. Para que a busca seja *completa*, implemente a versão do DFS que não expande estados já visitados.

Teste seu código executando:

```
python pacman.py -l tinyMaze -p SearchAgent
python pacman.py -l mediumMaze -p SearchAgent
python pacman.py -l bigMaze -z .5 -p SearchAgent
```

A saída do Pacman irá mostrar os estados explorados e a ordem em que eles foram explorados (vermelho mais forte significa que o estado foi explorado nas iterações iniciais). A ordem de exploração foi de acordo com o esperado? O Pacman realmente passa por todos os estados explorados no seu caminho para o objetivo?

Dica: Se você usar a pilha `Stack` como estrutura de dados, a solução encontrada pelo algoritmo DFS para o `mediumMaze` deve ter comprimento 130 (se os sucessores forem colocados na pilha na ordem dada por getSuccessors; pode ter comprimento 246 se forem colocados na ordem reversa). Essa é uma solução ótima? Senão, discuta o que a busca em profundidade está fazendo de errado?

Agora, verifique a corretude de sua implementação por meio do comando a seguir:

```
python autograder.py -q q1
```

Q2 (4 pontos) - BFS

Agora implemente o algoritmo de busca em extensão (BFS) na função `breadthFirstSearch` do arquivo **search.py**. De novo, implemente a versão que não expande estados que já foram visitados. Teste seu código executando os comandos a seguir:

```
python pacman.py -l mediumMaze -p SearchAgent -a fn=bfs
python pacman.py -l bigMaze -p SearchAgent -a fn=bfs -z .5
```

A sua implementação da BFS encontra a solução ótima? Senão, verifique a sua implementação.

Dica: se a execução dos comandos acima for muito lenta em sua máquina, acrescente a opção `--frameTime 0`.

Se o seu código foi escrito de maneira correta, ele deve funcionar também para o quebra-cabeças de 8 peças sem modificações. Teste isso por meio do comando a seguir:

```
python eightpuzzle.py
```

Quantas ações compõem a solução encontrada pelo BFS?

Agora, verifique a corretude de sua implementação por meio do comando a seguir:

```
python autograder.py -q q2
```

Q3 (4 pontos): A* search

Implemente a busca A* (com checagem de estados repetidos) na função `aStarSearch` do arquivo **search.py**. A busca A* recebe uma heurística como parâmetro. Heurísticas recebem dois parâmetros: um estado do problema de busca (o parâmetro principal), e o próprio objeto `Problem` (para consulta). A heurística implementada na função `nullHeuristic` do arquivo **search.py** é um exemplo trivial.

Teste sua implementação de A* no problema original de encontrar um caminho através de um labirinto até uma posição fixa usando a heurística de distância Manhattan (implementada na função `manhattanHeuristic` do arquivo **searchAgents.py**).

```
python pacman.py -l bigMaze -z .5 -p SearchAgent -a
fn=astar,heuristic=manhattanHeuristic
```

A busca A* deve achar a solução ótima um pouco mais rapidamente do que a busca de custo uniforme (549 vs. 620 nós de busca expandidos na nossa implementação, mas a aplicação de desempates pode produzir valores um pouco diferentes). O que acontece em `openMaze` para as várias estratégias de busca?

Agora, verifique a corretude de sua implementação por meio do comando a seguir:

```
python autograder.py -q q3
```

Q4 (3 pontos): Encontrando todos os cantos

O verdadeiro poder do A* só ficará aparente com um problema de busca mais desafiador. Agora, é hora de formular um novo problema e projetar uma heurística para ele.

Nos labirintos de canto, existem quatro pílulas, uma em cada canto. O novo problema de busca consiste em encontrar o caminho mais curto através do labirinto que toca todos os quatro cantos (independente de se o labirinto realmente tem comida em um canto ou não). Observe que, em alguns labirintos como o `tinyCorners`, o caminho mais curto nem sempre vai para a comida mais próxima primeiro! Dica: o caminho mais curto por `tinyCorners` leva 28 etapas.

Observação: certifique-se de responder à Q2 antes de trabalhar na Q4, porque esta última se baseia em sua resposta à Q2.

Implemente o problema de busca `CornersProblem` em searchAgents.py. Você precisará escolher uma representação de estado que codifique todas as informações necessárias para detectar se todos os quatro cantos foram alcançados. Use os comandos a seguir para testar seu agente de busca:

```
python pacman.py -l tinyCorners -p SearchAgent -a fn=bfs,prob=CornersProblem
```

```
python pacman.py -l mediumCorners -p SearchAgent -a fn=bfs,prob=CornersProblem
```

Para receber todos os pontos desta parte do trabalho, você precisa definir uma representação de estado abstrato que não codifique informações irrelevantes (como a posição dos fantasmas, onde há comida extra, etc.). Em particular, não use um Pacman GameState como um estado de busca. Seu código ficará muito lento (e também errado) se você fizer isso.

Dica 1: as únicas partes do estado do jogo que você precisa fazer referência em sua implementação são a posição inicial do Pacman e a localização dos quatro cantos.

Dica 2: ao codificar a expansão, certifique-se de adicionar cada nó filho à lista de filhos com custo `getActionCost` e próximo estado `getNextState`. Observe que você também precisará codificar a função `getNextState`.

Dica 3: você deve armazenar estados do formato da tupla ((x, y), _____). Você precisará decidir quais informações armazenar no espaço em branco.

Como base para comparação, nossa implementação de `breadthFirstSearch` expande pouco menos de 2.000 nós de busca no `mediumCorners`. No entanto, as heurísticas (usadas com a busca A*) podem reduzir a quantidade de busca necessária.

Agora, verifique a corretude de sua implementação por meio do comando a seguir:

```
python autograder.py -q q4
```

Q5 (3 pontos): Heurística para o Problema dos Cantos

Observação: certifique-se de completar a Q3 antes de trabalhar na Q5, porque a Q5 se baseia em sua resposta para a Q3.

Implemente uma heurística consistente e não trivial para `CornersProblem` em `cornersHeuristic`.

```
python pacman.py -l mediumCorners -p AStarCornersAgent -z 0.5
```

Nota: AStarCornersAgent é um atalho para

```
-p SearchAgent -a
fn=aStarSearch,prob=CornersProblem,heuristic=cornersHeuristic
```

Admissibilidade vs. Consistência: Lembre-se de que as heurísticas são apenas funções que pegam estados de busca e retornam números que estimam o custo até o (estado) objetivo mais próximo. Heurísticas mais eficazes retornarão valores mais próximos dos custos reais para o objetivo. Para serem admissíveis, os valores heurísticos devem ser limites inferiores no custo do caminho mais curto real para o objetivo mais próximo (e não negativos). Para ser consistente, ele deve adicionalmente sustentar que se uma ação tem custo c, então realizar essa ação só pode causar uma queda na heurística de no máximo c.

Lembre-se de que a admissibilidade não é suficiente para garantir a correção na busca em grafo (*graph search*) - você precisa de uma condição mais forte de consistência. No entanto, as heurísticas admissíveis geralmente também são consistentes, especialmente se derivadas de relaxamentos de problemas. Portanto, geralmente é mais fácil começar fazendo um brainstorming de heurísticas admissíveis. Depois de ter uma heurística admissível que funcione bem, você pode verificar se ela também é consistente. A única maneira de garantir consistência é com uma prova. A consistência pode ser verificada para uma heurística verificando se para cada nó que você expandir, seus nós filhos são iguais ou menores em valor f. Se essa condição for violada para qualquer nó, sua heurística é inconsistente. Além disso, se UCS (A* com a heurística nula) e A* retornarem caminhos de comprimentos diferentes, sua heurística será inconsistente. Atente para isso!

Heurísticas não triviais: As heurísticas triviais são aquelas que retornam zero em todos os lugares (UCS) e a heurística que calcula o custo de conclusão verdadeiro. O primeiro não vai lhe poupar tempo, enquanto o último vai expirar o autograder. Você quer uma heurística que reduza o tempo total de computação, embora para esta atribuição o autograder verificará apenas as contagens de nós (além de impor um limite de tempo razoável).

Avaliação: sua heurística deve ser uma heurística consistente não trivial não negativa para receber qualquer ponto. Certifique-se de que sua heurística retorne 0 em cada estado de meta e nunca retorne um valor negativo. Dependendo de quantos nós sua heurística se expande, você será avaliado:

Quantidade de nós expandidos	**Pontos**
Mais do que 2000	0/3
No máximo 2000	1/3
No máximo 1600	2/3
No máximo 1200	3/3

Atenção: se sua heurística for inconsistente, você não receberá os pontos desta parte do trabalho.

Agora, verifique a corretude de sua implementação por meio do comando a seguir:

```
python autograder.py -q q5
```

Q6 (4 pontos): Comendo todas as pílulas

Agora você irá considerar e resolver um problema de busca mais difícil: fazer o Pacman comer toda a comida no menor número de passos possível. Para isso, usaremos uma nova definição de problema de busca que formaliza esse problema: `FoodSearchProblem` no arquivo **searchAgents.py** (já implementado). Uma solução é um caminho que coleta toda a comida no mundo do Pacman. A solução não será modificada se houver fantasmas no caminho; ela só depende do posicionamento das paredes, da comida e do Pacman. Se os seus algoritmos de busca estiverem corretos, `A*` com uma heurística nula (equivalente a busca de custo uniforme) deve encontrar uma solução para o problema `testSearch` sem nenhuma mudança no código (custo total de 7).

```
python pacman.py -l testSearch -p AStarFoodSearchAgent
```

Nota: `AStarFoodSearchAgent` é um atalho para `-p SearchAgent -a fn=astar,prob=FoodSearchProblem,heuristic=foodHeuristic`.

Você deve notar que o UCS começa a ficar mais lento, mesmo para o aparentemente simples `tinySearch`. Como referência, nossa implementação leva 2,5 segundos para encontrar um caminho de comprimento 27 após expandir 5057 nós de busca.

Observação: certifique-se de completar a Q3 antes de trabalhar na Q6, porque a Q6 se baseia em sua resposta para a Q3.
Complete a função `foodHeuristic` em searchAgents.py com uma heurística consistente para `FoodSearchProblem`. Em seguida, teste seu agente no problema `trickySearch`:

```
python pacman.py -l trickySearch -p AStarFoodSearchAgent
```

Como referência, nossa implementação com UCS encontra a solução ótima em cerca de 13 segundos, explorando aproximadamente 16.000 nós.

Qualquer heurística consistente não trivial não negativa receberá 1 ponto. Certifique-se de que sua heurística retorne 0 em cada estado de meta e nunca retorne um valor negativo. Dependendo de quantos nós sua heurística se expande, você obterá pontos adicionais:

Quantidade de nós expandidos	**Pontos**
mais de 15.000	1/4
no máximo 15.000	2/4
no máximo 12.000	3/4
no máximo 9.000	4/4 (crédito total; médio)
no máximo 7.000	5/4 (crédito extra opcional; difícil)

Agora, verifique a corretude de sua implementação por meio do comando a seguir:

```
python autograder.py -q q6
```

Q7 (3 pontos): Busca subótima

Às vezes, mesmo com A* e uma boa heurística, é difícil encontrar o caminho ótimo através de todos os pontos. Nesses casos, ainda gostaríamos de encontrar um caminho razoavelmente bom, rapidamente. Nesta seção, você escreverá um agente que sempre come avidamente o ponto mais próximo. `ClosestDotSearchAgent` já está implementado para você em searchAgents.py, mas está faltando uma função-chave que encontra um caminho para o ponto mais próximo.

Implemente a função `findPathToClosestDot` em searchAgents.py. Nosso agente resolve este labirinto (abaixo do ideal!) em menos de um segundo com um custo de caminho de 350:

```
python pacman.py -l bigSearch -p ClosestDotSearchAgent -z .5
```

Dica: a maneira mais rápida de concluir `findPathToClosestDot` é preencher `AnyFoodSearchProblem`, que está faltando seu teste de objetivo. Em seguida, resolva esse problema com uma função de pesquisa apropriada. A solução deve ser muito curta!

Seu agente `ClosestDotSearchAgent` nem sempre encontrará o caminho mais curto possível pelo labirinto. Certifique-se de entender o porquê e tente criar um pequeno exemplo em que ir repetidamente para o ponto mais próximo não resulte em encontrar o caminho mais curto para comer todos os pontos.

Agora, verifique a corretude de sua implementação por meio do comando a seguir:

```
python autograder.py -q q7
```

Glossário

Este é um glossário dos objetos principais na base de código relacionada a problemas de busca.

`SearchProblem (search.py)`

> Um SearchProblem é um objeto abstrato que representa o espaço de estados, função sucessora, custos, e estado objetivo de um problema. Você vai interagir com objetos do tipo SearchProblem somente através dos métodos definidos no topo de **search.py**

`PositionSearchProblem (searchAgents.py)`

> Um tipo específico de SearchProblem --- corresponde a procurar por uma única comida no labirinto.

`FoodSearchProblem (searchAgents.py)`

> Um tipo específico de SearchProblem --- corresponde a procurar um caminho para comer toda a comida em um labirinto.

Função de Busca

> Uma função de busca é uma função que recebe como entrada uma instância de SearchProblem, roda algum algoritmo, e retorna a sequência de ações que levam ao objetivo. Exemplos de função de busca são`depthFirstSearch` e `breadthFirstSearch`, que deverão ser escritas pelo grupo. A função de busca dada `tinyMazeSearch`é uma função muito ruim que só funciona para o labirinto `tinyMaze`

`SearchAgent`

> `SearchAgent` é uma classe que implementa um agente (um objeto que interage com o mundo) e faz seu planejamento de acordo com uma função de busca. `SearchAgent` primeiro usa uma função de busca para encontrar uma sequência de ações que levem ao estado objetivo, e depois executa as ações uma por vez.