哈爾濱工業大學

人工智能实验报告

题　　目　搜索策略

专　　业　视听觉信息处理

学　　号　1170300521

学　　生　张亚博

指 导 教 师　李钦策

同 组 人 员　强文杰，陈鋆，王家琪，束魏琦

一. 简介/问题描述

1.1 待解决问题的解释

在本实验中，吃豆人将找到通过迷宫世界的路径，或是到达一个指定的位置，或是高效的搜集食物。我们编辑文件 search.py, searchAgent.py，编写一系列吃豆人程序包括到达指定位置以及有效的吃豆，并将其应用到吃豆人场景，完成对相关人工智能功能的完善，包括到达指定位置以及有效的吃豆等，通过策略选择以最少的步数，在搜索最少节点的情况下达成问题目标。

1.2 问题的形式化描述

问题 1-4：分别利用深度优先算法，宽度优先算法,代价一致算法和 A*算法找到一个特定的位置的豆。

问题 5：在角落迷宫的四个角上面有四个豆。这个搜索问题要求找到一条访问所有四个角落的最短的路径。

问题 6：构建合适的启发函数，完成 searchAgents.py 文件中的 cornersHeuristic 角落搜索问题。

问题 7：吃掉所有的豆子用尽可能少的步数吃掉所有的豆子。完成 searchAgents.py 文件中的 FoodSearchProblem 豆子搜索问题。

问题 8：定义一个优先吃最近的豆子函数是提高搜索速度的一个好的办法。补充完成 searchAgents.py 文件中的 AnyFoodSearchProblem 目标测试函数，并完成 searchAgents.py 文件中的 ClosestDotSearchAgent 部分，即找到最近豆子的函数。

1.3 解决方案介绍（原理）

问题 1-4：使用相同的搜索方案，分别用序列记录当前已经过的路径（actions），遍历过的节点（close 表）。开始时首先将问题的初始节点与空的 actions 作为列表添加到 open 表中。之后进入循环，弹出当前 open 表中第一个元素，并将此节点加入到 close 序列中。如果当前节点为目标节点则返回路径 actions。否则，保存路径部分 actions。遍历刚才弹出节点的所有后继节点，如果其还没有被遍历过（即还没有被加入

close 中），那么将该节点与相应的 action 添加到 open 表中。本轮循环结束。若直到栈空仍没有到达目标节点，说明搜索失败，返回一个空的序列。利用实验所给的数据结构，问题 1-4 的 open 表分别使用栈，队列，权值为路径和的优先队列，权值为路径和与 h(x)之和的优先队列。

问题 5：找到所有的角落,在角落迷宫的四个角上面有四个豆,通过这个函数找到一条访问所有四个角落的最短的路径。在 CornersProblem 类中,我们使用__init__函数存储墙壁的位置,吃豆人的起点和角落位置,定义新的函数 getStartState 用于获得节点起始状态，isGoalState 函数判断当前节点是否为目标节点，getSuccessors 函数返回后继状态，所需的操作以及代价，getCostOfActions 函数计算动作序列所需的代价。查找后继节点时，在四个方向一次遍历，使用 directionToVector 移动位置，如果没有墙，则把下一个的状态，动作，花费的步数加入下一节点。

问题 6：构建合适的启发函数，完成问题 5 中的角落搜索问题。 在问题 5 使用的 CornersProblem 类中定义 cornersHeuristic 函数，为角落问题构造启发函数。在 cornersHeuristic 函数中使用了 GetNextNodes 函数获取下一个节点，isGoal 函数判断是否为目标。

问题 7：用尽可能少的步数吃掉所有的豆子。这个问题利用之前 A*算法可以很容易找到解，启发式函数的与距离的讨论详见实验结果与分析中的问题 7，在这里不再详述。 下面在 FoodSearchProblem 类中定义函数 foodHeuristic，构建合适的启发函数完成豆子搜索（启发式）问题。

问题 8：次最优搜索，定义一个优先吃最近的豆子的函数，以此来提高搜索速度。运行逻辑是不断的使用 findPathToClosestDot 寻找到最近的食物的路径并将该路径加入到总路径之中，直到所有的食物均被吃完。因而在 isGoalState 函数中，要定义将吃掉一个食物作为目标状态，以使 findPathToClosestDot 函数在吃到最近的食物后返回 actions 列表。

而在 findPathToClosestDot 函数中，我们要给出吃豆人到最近的食物的 actions 列表，因此使用一定会产生最优解的 BFS 进行搜索。本函数同时还要把已经到达的食物标记为已经吃掉了的状态，具体为在 food 对应的 Grid 对象将相应位置置为 false。补充

AnyFoodSearchProblem 目标测试函数，并在 ClosestDotSearchAgent 当中添加 findPathToClosestDot 函数，用于寻找最近的豆子。

二. 算法介绍

2.1 所用方法的一般介绍

问题 1-4：搜索过程基本相同，唯一不同的是 open 表的数据结构，问题 1 是栈；问题 2 是队列；问题 3 是优先队列，权值为起点到当前节点路径和；问题 4 也是优先队列，不过权值为从起点到当前节点路径和与函数 h(x)之和，h(x)为该节点到下一个节点估值。其中搜索过程如下：

（1）把初始节点放入 open 表中，建立一个 close 表，置为空；

（2）检查 open 表是否为空表，若为空，则问题无解，失败退出；

（3）把 open 表的第一个节点取出放入 closed 表，并记该节点为 n；

（4）考察节点 n 是否为目标节点，若是则得到问题的解成功退出；

（5）若结点 n 不可扩展，则转第二步；

（6）扩展节点 n，将其子节点放入 open 表的首部，并为每个子节点设置指向父节点的指针，转向第二步。

问题 5：首先定义问题的状态为 一个二元组，分别为当前的位置与所遍历过的角落。GetStarState 函数返回这个二元组。isGoalState 函数返回一个布尔值，判断已经遍历过的顶点个数是否为 getSuccessor 函数从当前为位置开始朝四个方向移动，如果该位置不是墙且没有遍历过那么将其加入返回的序列中。

问题 6：本问题要求实现一致的启发函数，为上一问题中的 cornerProblem 在执行中可以扩展尽量少的节点。启发性函数的启发策略为从当前位置依次向四个角落中还未被遍历过的且曼哈顿距离最近的距离值开始。并以此为起点继续上述动作，直至所有角落被遍历。将这些曼哈顿距离之和作为返回值。

问题 7：本问题目标实现解决 FoodSearchProblem，即吃掉所有的迷宫中的食物。问题中的启发性函数的启发策略为在当前状态下吃到下一个食物的最短距离。由于在阅读代码时发现在这个问题后有一个实现了的

求在迷宫中的两点的距离的函数。于是对这个函数加以利用，启发函数的返回值为当前节点到所有剩余食物中距离最近的值。

问题 8：在这个问题中我按照题目提示的最简单的方式实现了这个问题。首先补充完 AnyFoodSearchProblem 类中对于目标节点的测试部分。对当前剩余的所有食物进行遍历，找到距离当前状态最近的食物的曼哈顿距离，如果这个距离为 0，那么该节点即为目标节点。之后选取适当的搜索方式得到路径即可，选用的是 BFS 算法。

2.2 算法伪代码

问题 1-4 通用搜索算法伪代码如下图所示，不同的部分是 open 表使用的数据结构：问题一是栈；问题二是队列；问题三是优先队列，权值为起点到当前节点路径和；问题四也是优先队列，不过权值为从起点到当前节点路径和与函数 h(x)之和。

```
function GRAPH-SEARCH(problem, fringe) return a solution, or failure
    closed ← an empty set
    fringe ← INSERT(MAKE-NODE(INITIAL-STATE[problem]), fringe)
    loop do
        if fringe is empty then return failure
        node ← REMOVE-FRONT(fringe)
        if GOAL-TEST(problem, STATE[node]) then return node
        if STATE[node] is not in closed then
            add STATE[node] to closed
            for child-node in EXPAND(STATE[node], problem) do
                fringe ← INSERT(child-node, fringe)
            end
    end
```

三. 算法实现

3.1 实验环境与问题规模

实验环境：Windows10，Python2.7，Pycharm

问题规模：地图中坐标的个数

3.2 数据结构

栈：后进先出，作为问题 1 的 open 表

队列：先进先出，作为问题 2 的 open 表

优先队列：根据权值大小排序，权值最小的先出，为问题 3 的 open 表

问题 searchProblem：搜索问题的数据结构，可获得问题的初始状态，

目标状态，后继节点，以及从起点到当前节点最小代价

Actions：搜索路径的列表，保存搜索路径

3.3 实验结果及分析

问题 1：与其他算法结果对比后发现，使用深度优先算法可以获得到一个特定位置的路径，但不一定是最短路径；并且深度优先算法在搜索过程中，不考虑路径的代价，即两个节点之间距离可看作恒定。

问题 2：与代价一致搜索和 A*算法结果对比后发现，在任意两个节点距离相等的情况下，使用宽度优先算法可以得到到达一个特定位置的最短路径；而在其他情况下，未必得到最短路径。但相比较于代价一致搜索和 A*算法，宽度优先搜索算法的数据结构和算法实现更为简单。

问题 3：观察并分析实验结果后发现，无论任意两点间距离是否相同，使用代价一致算法均可以获得到达一个特定位置的最短路径。但这个算法类似于暴力搜索，搜索代价较大，速度较慢。

问题 4：与之前三个实验的结果对比后发现，有了合适的启发函数，A*算法不仅可以得到最短路径，还可以大大降低搜索最短路径的代价，速度较快。但启发函数的选取过程较为复杂。

问题 5：为了更加完整的反映此时图上的信息，状态 state 表示为 一个形如(coord, foods_state)的二元组，其中 coord 为吃豆人所在的位置坐标(x,y)。foods_state 为四个角落食物的状态列表，初始值为[False,False,False,False]。若对应位置的食物未被吃掉，则 foods_state 中对应项 False,若被吃则 foods_state 中对应项为 True。

运行程序，结果如 3.4 节中问题 5&6 图 1 所示，对于各个测试文件，均可以找到到一条访问所有四个角落的最短的路径，但搜索代价较大，类似于暴力搜索。所以对于效率方面，算法还有很大的改进空间。

问题 6：为了更好的解决启发式角落问题，需要选取合适的启发函数，启发式函数值应是真实代价的下界。而对于迷宫而言，如果我们选择在无墙的迷宫中从某位置到达目标状态的最小代价作为启发式函数值，那么这个值一定是真实代价的下界。而在无墙的迷宫中从某位置到达目标状态的最小代价即为我们所选择的启发式函数，记为 h(n)。运行程序，

结果如 3.4 节中问题 5&6 图 2 所示，可以看出，启发式搜索可以在保证得到问题最优解的基础上，一定程度上提高算法的搜索效率。

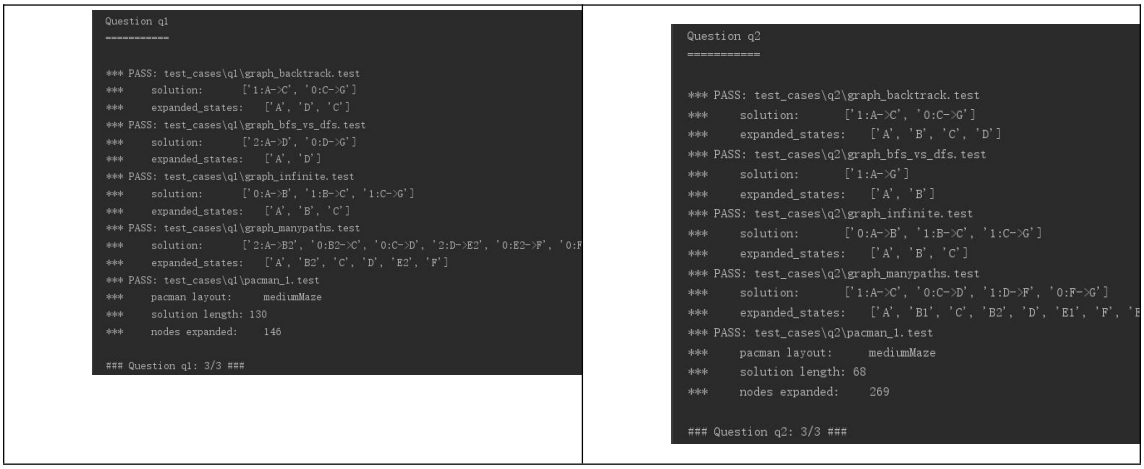
问题 7：此问题关键在于选取合适的启发函数，我们选取启发函数值为吃豆人与距离其最远的剩余食物之间的距离。为何要选择最远的食物呢？首先 ，因为 A*算法总是选择 f 值最小的节点进行扩展，因而这样选择启发式函数值可以使节点更倾向于扩展到剩余食物的中心位置，使节点距离剩余食物中的每一个都不至于很远。其次，这种启发式函数值选取方法还可以防止对某个食物节点的临近位置的过度探索，不会被局限在迷宫的某个局部，而是全局考虑。

在确定了具有代表性的食物位置之后，还要确定使用何种距离。若使用曼哈顿距离，扩展了 9551 个节点，搜索代价过大。使用 mazeDistance，可以产生比曼哈顿距离更紧的下界，结果如 3.4 节问题 7&8 中图 1 所示，扩展了 4731 个节点，效果有了一定程度的改善。并且，实验结果也说明，使用 maze 距离可以产生此问题的最优解。

问题 8：实验结果如 3.4 节中问题 7&8 图 2 所示，与最优解的结果对比，显然算法得到的结果路径更长，说明每步选取最近食物的贪心算法对于此问题并不能产生最优解，而是次优解。但路径的搜索速度大大提升，效率也有了很大提高，在最优解和搜索效率之间建立了一个 tradeoff。

3.4 系统中间及最终输出结果（要求有屏幕显示）

问题 1&2：



问题 3&4：

```
Question q3
===========

*** PASS: test_cases\q3\graph_backtrack.test
***     solution:       ['1:A->C', '0:C->G']
***     expanded_states:    ['A', 'B', 'C', 'D']
*** PASS: test_cases\q3\graph_bfs_vs_dfs.test
***     solution:       ['1:A->G']
***     expanded_states:    ['A', 'B']
*** PASS: test_cases\q3\graph_infinite.test
***     solution:       ['0:A->B', '1:B->C', '1:C->G']
***     expanded_states:    ['A', 'B', 'C']
*** PASS: test_cases\q3\graph_manypaths.test
***     solution:       ['1:A->C', '0:C->D', '1:D->F', '0:F->G']
***     expanded_states:    ['A', 'B1', 'C', 'B2', 'D', 'E1', 'F', 'E2
*** PASS: test_cases\q3\ucs_0_graph.test
***     solution:       ['Right', 'Down', 'Down']
***     expanded_states:    ['A', 'B', 'D', 'C', 'G']
*** PASS: test_cases\q3\ucs_1_problemC.test
***     pacman layout:      mediumMaze
***     solution length: 68
***     nodes expanded:     269
*** PASS: test_cases\q3\ucs_2_problemE.test
***     pacman layout:      mediumMaze
***     solution length: 74
***     nodes expanded:     260
```

```
Question q4
===========

*** PASS: test_cases\q4\astar_0.test
***     solution:       ['Right', 'Down', 'Down']
***     expanded_states:    ['A', 'B', 'D', 'C', 'G']
*** PASS: test_cases\q4\astar_1_graph_heuristic.test
***     solution:       ['0', '0', '2']
***     expanded_states:    ['S', 'A', 'D', 'C']
*** PASS: test_cases\q4\astar_2_manhattan.test
***     pacman layout:      mediumMaze
***     solution length: 68
***     nodes expanded:     221
*** PASS: test_cases\q4\astar_3_goalAtDequeue.test
***     solution:       ['1:A->B', '0:B->C', '0:C->G']
***     expanded_states:    ['A', 'B', 'C']
*** PASS: test_cases\q4\graph_backtrack.test
***     solution:       ['1:A->C', '0:C->G']
***     expanded_states:    ['A', 'B', 'C', 'D']
*** PASS: test_cases\q4\graph_manypaths.test
***     solution:       ['1:A->C', '0:C->D', '1:D->F', '0:F->G']
***     expanded_states:    ['A', 'B1', 'C', 'B2', 'D', 'E1', 'F', 'E2

### Question q4: 3/3 ###
```

问题 5&6：

```
Question q5
===========

*** PASS: test_cases\q5\corner_tiny_corner.t
***     pacman layout:      tinyCorner
***     solution length:        28

### Question q5: 3/3 ###
```

```
Question q6
===========

*** PASS: heuristic value less than true cost at start state
*** PASS: heuristic value less than true cost at start state
*** PASS: heuristic value less than true cost at start state
path: ['North', 'East', 'East', 'East', 'East', 'North', 'No
path length: 106
*** PASS: Heuristic resulted in expansion of 741 nodes

### Question q6: 3/3 ###
```

问题 7&8：

```
Question q7
===========

*** PASS: test_cases\q7\food_heuristic_1.test
*** PASS: test_cases\q7\food_heuristic_10.test
*** PASS: test_cases\q7\food_heuristic_11.test
*** PASS: test_cases\q7\food_heuristic_12.test
*** PASS: test_cases\q7\food_heuristic_13.test
*** PASS: test_cases\q7\food_heuristic_14.test
*** PASS: test_cases\q7\food_heuristic_15.test
*** PASS: test_cases\q7\food_heuristic_16.test
*** PASS: test_cases\q7\food_heuristic_17.test
*** PASS: test_cases\q7\food_heuristic_2.test
*** PASS: test_cases\q7\food_heuristic_3.test
*** PASS: test_cases\q7\food_heuristic_4.test
*** PASS: test_cases\q7\food_heuristic_5.test
*** PASS: test_cases\q7\food_heuristic_6.test
*** PASS: test_cases\q7\food_heuristic_7.test
*** PASS: test_cases\q7\food_heuristic_8.test
*** PASS: test_cases\q7\food_heuristic_9.test
*** PASS: test_cases\q7\food_heuristic_grade_tric
***     expanded nodes: 4137
***     thresholds: [15000, 12000, 9000, 7000]

### Question q7: 5/4 ###
```

```
Question q8
===========

[SearchAgent] using function depthFirstSearch
[SearchAgent] using problem type PositionSearchP
*** PASS: test_cases\q8\closest_dot_1.test
***     pacman layout:      Test 1
***     solution length:        1
[SearchAgent] using function depthFirstSearch
[SearchAgent] using problem type PositionSearchP
*** PASS: test_cases\q8\closest_dot_10.test
***     pacman layout:      Test 10
***     solution length:        1
[SearchAgent] using function depthFirstSearch
[SearchAgent] using problem type PositionSearchP
*** PASS: test_cases\q8\closest_dot_11.test
***     pacman layout:      Test 11
***     solution length:        2
[SearchAgent] using function depthFirstSearch
[SearchAgent] using problem type PositionSearchP
*** PASS: test_cases\q8\closest_dot_12.test
***     pacman layout:      Test 12
***     solution length:        3
[SearchAgent] using function depthFirstSearch
[SearchAgent] using problem type PositionSearchP
*** PASS: test_cases\q8\closest_dot_13.test
```

总结果：

```
Provisional grades
==================
Question q1: 3/3
Question q2: 3/3
Question q3: 3/3
Question q4: 3/3
Question q5: 3/3
Question q6: 3/3
Question q7: 5/4
Question q8: 3/3
------------------
Total: 26/25
```

四. 总结及讨论

在本次实验中我们实现了深度优先搜索，宽度优先搜索，代价一致搜索，A*等搜索算法，同时也深入了解了启发式函数的选取，方法以及可用性、一致性的证明。

在实现与验证这一系列搜索算法的过程中，通过对它们之间结果的对比，我对它们的优缺点有了更加深刻的认识。即深度优先搜索不能得到问题最优解；对于宽度优先搜索，只有在任意节点之间距离相等情况下，才能得到最优解；代价一致搜索与 A*算法能得到任意情况下到特定位置的最优解，并且 A*搜索代价一般要小于代价一致搜索算法。

对于搜索问题，简单的暴力搜索花费时间较长，所以需要找到合适的启发函数，才能最大限度的提高搜索效率。除此之外，所用距离类型的不同也会影响搜索效率，如在问题 7 中 maze 距离搜索代价要显著小于曼哈顿距离的搜索代价。有些时候，为了加快搜索效率，也可在最优解和搜索效率之间进行 tradeoff；虽然贪心算法得到的是问题的次优解，但却极大的提高了搜索效率。

五. 参考文献

[1] 王万森.人工智能原理及其应用[M].北京：电子工业出版社，2012.09.01

[2] Stuart J.Russell,Peter Norvig.Artificial Intelligence A Mooern Approach Third Edition[M].北京：清华大学出版社,2013.11.01