CS300 Artificial Intelligent - Lab Midterm Project

Instructors: *Dr. Nguyen Ngoc Thao, Msc. Do Trong Le - Nguyen Quang Thuc*

Students: *Dao Minh Duc - 2159003, Nguyen Bao Ngoc - 2159009*

Project Description

This project is a part of the course CS300 - Artificial Intelligent at ITEC, HCMUS. The project is about implementing a simple AI to play the game "Sokoban", programmed in Python, using the Pygame library for the GUI. The game is a classic puzzle game where the player has to push boxes to the target locations. The game is considered solved when all boxes are on the target locations.

The rules of the game are as follows:

- The player can move in four directions: up, down, left, right.
- The player can push a box if there is no obstacle behind the box.
- The player can only push one box at a time.
- The player cannot move through walls or boxes.
- The game is considered solved when all boxes are on the target locations.
- The cost of every move is equal.

Game State Representation

Each step of the solution will be represented as a state of the game. Each state is represented as a 2D array, where each cell contains the information of the object in that cell:

- Empty: (space)
- Wall: `#`
- Box: `$`
- Target: `.`
- Player: `@`
- Box on target: `*`
- Player on target: `+`

Example:
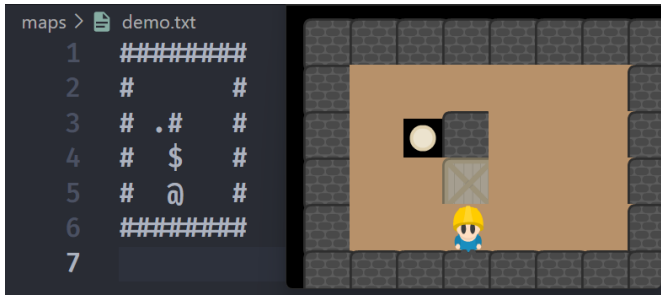
The neighbor (or successor) states of a state are the states that can be reached from the current state by moving the player in one of the four directions, or by pushing a box in one of the four directions. States will be deduplicated and stored in a queue, stack, or priority queue, depending on the algorithm used.

Algorithms

The program will read the input from a file, which contains the initial state of the game. It will then use a specific search algorithm specified by user to solve the game. The solution will be displayed on the GUI, and the additional information will be printed to the console. The following algorithms will be implemented:

- Breadth-First Search (BFS)
- Depth-First Search (DFS)
- A* Search
- Uniform Cost Search (UCS)
- Greedy Best-First Search
- and a custom algorithm

To help minimize the number of states generated, the program can identify whether a state has box(es) that is stuck in a corner and will not add those states into the queue/stack. It will also help to identify whether a map can be solved without having to generate all possible states.

Due to the rule *"The cost of every move is equal"*, BFS and UCS are expected to perform quite similarly.

Heuristics

For algorithms that use heuristics (A*, GBFS), the sum of Manhattan distances of each box on the board to its nearest target will be used.

Hamming distance will not be suitable for this problem, since until a state with at least one box on a target is reached, the Hamming distance will be equal to $N \times 2$, with N being the number of boxes on the board.

Benchmark

System Specification

Property	Value
OS	Ubuntu 22.04.4 LTS, 64-bit
Processor	Intel® Xeon(R) E5-2680 v4 @ 2.40GHz
Memory	256.0 GiB

Results

`maps/sokoban1.txt`

```
######
#    #
# #  #
#*$ .#
#@####
# ####
######
```

Algorithm	Time (s)	No. Nodes Generated	No. Nodes Expanded	Solution Length
BFS	0.005	36	19	8
DFS	0.003	25	12	8
UCS	0.006	36	19	8
A*	0.006	37	20	8
GBFS	0.004	28	14	8

`maps/sokoban2.txt`

```
#######
###@ .#
# $ #.#
#  $$ #
#.  # #
#   $.#
#######
```

Algorithm	Time (s)	No. Nodes Generated	No. Nodes Expanded	Solution Length
BFS	6.689	41532	17251	144
DFS	5.372	32514	13558	547
UCS	7.199	41530	17251	144
A*	7.175	41509	17242	144
GBFS	6.797	38393	15920	198

`maps/sokoban3.txt`

```
########
###   ##
#.@$  ##
### $.##
#.##$ ##
# # . ##
#$ *$$.#
#   .  #
########
```

Algorithm	Time (s)	No. Nodes Generated	No. Nodes Expanded	Solution Length
BFS	21.127	95987	36761	34
DFS	431.402	2017390	784578	142
UCS	20.695	89904	34700	34
A*	8.312	35011	13669	34
GBFS	4.857	21881	8591	38

```
maps/sokoban4.txt
```

```
#######
#     #
# #$@ #
# * *##
##.* ##
# $ .##
#    ##
#######
```

Algorithm	Time (s)	No. Nodes Generated	No. Nodes Expanded	Solution Length
BFS	27.043	156302	63570	72
DFS	28.035	158297	64446	174
UCS	28.523	156082	63483	72
A*	29.188	154006	62610	72
GBFS	13.364	73228	29993	108

> Proof of result can be found inside Appendix at the end of the document.

Usage

Arguments:

- `--map` : The path to the file containing the initial state of the game. The default value is `maps/demo_1.txt` .
- `--strategy` : The search algorithm used to solve the game. The default value is `bfs` . The possible values are `bfs` , `dfs` , `ucs` , `astar` , `greedy` , and `custom` .

```
python main.py --map maps/custom_map.txt --strategy astar
```

Notes

- The program requires Python 3, and the Pygame library to be installed (`pip install pygame`).

Project Structure

- `assets` : The folder containing the assets used in the GUI.
- `main.py` : The main file of the program.
- `maps` : The folder containing the initial state files of the game.
- `modules` : The folder containing the main modules of the program.
  - `game_state.py` : The module containing the `GameState` class, which represents the state of the game.
  - `game_visualization.py` : The module containing the `GameVisualization` class, which is responsible for the GUI.
  - `solver.py` : The module containing the `Solver` class, which is responsible for solving the game using different algorithms.

Appendix

Proof of result

System configuration
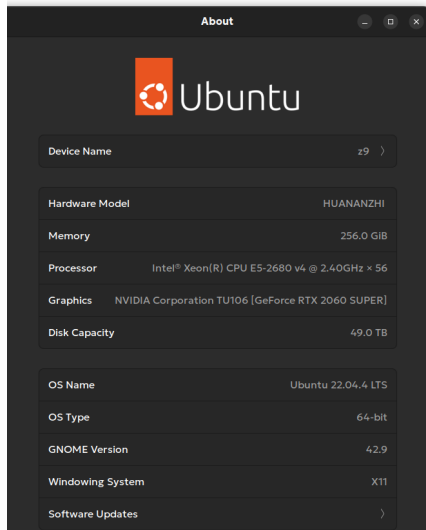
sokoban1.txt

```
> python3 main.py --map maps/sokoban1.txt --strategy bfs
pygame 2.5.2 (SDL 2.28.2, Python 3.10.12)
Hello from the pygame community. https://www.pygame.org/contribute.html
Number of states generated: 36
Number of states expanded: 19
Number of moves: 8
Time taken: 0.005460500717163086
Solution: ['U', 'R', 'R', 'U', 'U', 'L', 'L', 'D']
```

```
> python3 main.py --map maps/sokoban1.txt --strategy dfs
pygame 2.5.2 (SDL 2.28.2, Python 3.10.12)
Hello from the pygame community. https://www.pygame.org/contribute.html
Number of states generated: 25
Number of states expanded: 12
Number of moves: 8
Time taken: 0.003883838653564453
Solution: ['U', 'R', 'R', 'U', 'U', 'L', 'L', 'D']
```

```
> python3 main.py --map maps/sokoban1.txt --strategy ucs
pygame 2.5.2 (SDL 2.28.2, Python 3.10.12)
Hello from the pygame community. https://www.pygame.org/contribute.html
Number of states generated: 36
Number of states expanded: 19
Number of moves: 8
Time taken: 0.005991697311401367
Solution: ['U', 'R', 'R', 'U', 'U', 'L', 'L', 'D']
```

```
> python3 main.py --map maps/sokoban1.txt --strategy astar
pygame 2.5.2 (SDL 2.28.2, Python 3.10.12)
Hello from the pygame community. https://www.pygame.org/contribute.html
Number of states generated: 37
Number of states expanded: 20
Number of moves: 8
Time taken: 0.006205558776855469
Solution: ['U', 'R', 'R', 'U', 'U', 'L', 'L', 'D']
```

```
> python3 main.py --map maps/sokoban1.txt --strategy greedy
pygame 2.5.2 (SDL 2.28.2, Python 3.10.12)
Hello from the pygame community. https://www.pygame.org/contribute.html
Number of states generated: 28
Number of states expanded: 14
Number of moves: 8
Time taken: 0.004228353500366211
Solution: ['U', 'R', 'R', 'U', 'U', 'L', 'L', 'D']
```

sokoban2.txt

```
> python3 main.py --map maps/sokoban2.txt --strategy bfs
pygame 2.5.2 (SDL 2.28.2, Python 3.10.12)
Hello from the pygame community. https://www.pygame.org/contribute.html
Number of states generated: 41532
Number of states expanded: 17251
Number of moves: 144
Time taken: 6.689842224121094
Solution: ['D', 'D', 'U', 'U', 'R', 'R', 'D', 'D', 'L', 'L', 'R', 'R',
'D', 'D', 'L', 'L', 'U', 'L', 'L', 'U', 'U', 'R', 'D', 'R', 'D', 'D', '
R', 'R', 'U', 'U', 'L', 'L', 'R', 'R', 'U', 'U', 'L', 'L', 'D', 'L', 'L
', 'D', 'D', 'D', 'R', 'R', 'U', 'U', 'L', 'R', 'R', 'R', 'U', 'U', 'L'
, 'L', 'D', 'L', 'D', 'R', 'D', 'D', 'L', 'U', 'R', 'U', 'U', 'U', 'R',
'R', 'D', 'D', 'D', 'D', 'L', 'L', 'U', 'U', 'R', 'L', 'D', 'D', 'R',
'R', 'U', 'U', 'U', 'D', 'L', 'L', 'D', 'L', 'L', 'D', 'R', 'R', 'U', '
U', 'U', 'L', 'D', 'R', 'D', 'D', 'L', 'L', 'U', 'R', 'U', 'R', 'R', 'R
', 'D', 'D', 'L', 'L', 'U', 'L', 'U', 'R', 'R', 'L', 'D', 'D', 'R', 'R'
, 'U', 'U', 'L', 'L', 'D', 'L', 'L', 'D', 'R', 'R', 'R', 'L', 'U', 'U',
'U', 'L', 'L', 'D']
```

```
> python3 main.py --map maps/sokoban2.txt --strategy dfs
pygame 2.5.2 (SDL 2.28.2, Python 3.10.12)
Hello from the pygame community. https://www.pygame.org/contribute.html
Number of states generated: 32514
Number of states expanded: 13558
Number of moves: 547
Time taken: 5.372513055801392
Solution: ['D', 'D', 'U', 'U', 'R', 'R', 'D', 'D', 'D', 'D', 'L', 'L', 'U', 'U', 'D', 'D', 'R', 'R', '
U', 'U', 'U', 'U', 'L', 'L', 'D', 'D', 'U', 'U', 'R', 'R', 'D', 'D', 'L', 'L', 'U', 'U', 'R', 'R', 'D'
, 'D', 'D', 'D', 'L', 'L', 'U', 'L', 'L', 'U', 'U', 'R', 'D', 'R', 'D', 'D', 'R', 'R', 'U', 'U', 'U',
'U', 'L', 'L', 'D', 'D', 'U', 'U', 'R', 'R', 'D', 'D', 'L', 'L', 'U', 'U', 'R', 'R', 'D', 'D', 'D', 'D
', 'L', 'L', 'U', 'U', 'D', 'D', 'R', 'R', 'U', 'U', 'U', 'L', 'L', 'D', 'L', 'L', 'D', 'D', 'D', 'D',
'R', 'L', 'U', 'U', 'U', 'R', 'R', 'D', 'U', 'L', 'L', 'D', 'D', 'D', 'R', 'R', 'U', 'U', 'D', 'D', '
L', 'L', 'U', 'R', 'D', 'L', 'U', 'U', 'U', 'R', 'D', 'R', 'R', 'R', 'U', 'U', 'L', 'L', 'D', 'U', 'R'
, 'R', 'D', 'D', 'D', 'D', 'L', 'L', 'R', 'R', 'U', 'U', 'U', 'L', 'L', 'D', 'L', 'D', 'L', 'D',
'D', 'R', 'U', 'D', 'L', 'U', 'U', 'U', 'R', 'D', 'R', 'U', 'L', 'D', 'L', 'D', 'D', 'R', 'U', 'D', 'L
', 'U', 'U', 'U', 'R', 'R', 'U', 'R', 'R', 'D', 'D', 'D', 'D', 'U', 'U', 'U', 'R', 'R', 'D', 'U', 'L',
'U', 'U', 'U', 'U', 'L', 'L', 'D', 'D', 'L', 'U', 'R', 'U', 'R', 'R', 'D', 'D', 'D', 'D', 'L', 'L', '
U', 'U', 'D', 'D', 'R', 'R', 'U', 'U', 'U', 'U', 'L', 'L', 'D', 'D', 'R', 'U', 'D', 'D', 'R', 'R', 'U'
, 'U', 'L', 'D', 'U', 'R', 'D', 'D', 'D', 'R', 'U', 'L', 'U', 'U', 'R', 'U', 'R', 'R', 'D', 'D', 'D',
'D', 'L', 'R', 'U', 'U', 'U', 'L', 'L', 'D', 'D', 'U', 'U', 'R', 'R', 'D', 'L', 'L', 'U', 'U', 'L
', 'L', 'D', 'R', 'D', 'D', 'L', 'U', 'D', 'R', 'U', 'U', 'U', 'R', 'U', 'R', 'R', 'D', 'D', 'D', 'D',
'L', 'L', 'R', 'R', 'U', 'L', 'L', 'U', 'U', 'R', 'R', 'D', 'D', 'L', 'L', 'U', 'U',
'D', 'L', 'L', 'D', 'R', 'R', 'U', 'U', 'R', 'R', 'U', 'U', 'L', 'L', 'D', 'L', 'D', 'U', 'L', 'D', 'U'
, 'R', 'D', 'R', 'D', 'L', 'U', 'D', 'L', 'U', 'D', 'R', 'U', 'R', 'R', 'U', 'U', 'U', 'R', 'D',
'D', 'D', 'D', 'L', 'L', 'U', 'U', 'R', 'L', 'U', 'U', 'R', 'R', 'D', 'D', 'U', 'U', 'L', 'L', 'D', 'D
, 'D', 'D', 'R', 'R', 'U', 'U', 'U', 'D', 'D', 'D', 'L', 'L', 'U', 'L', 'L', 'D', 'R', 'U', 'R', 'U',
'U', 'L', 'L', 'D', 'U', 'R', 'D', 'D', 'L', 'D', 'R', 'U', 'U', 'L', 'D', 'U', 'R', 'U',
'D', 'D', 'L', 'U', 'D', 'L', 'U', 'D', 'R', 'U', 'R', 'U', 'U', 'L', 'D', 'U', 'R', 'D', 'D', 'D', 'L'
, 'L', 'U', 'R', 'U', 'U', 'L', 'D', 'U', 'R', 'D', 'D', 'L', 'U', 'D', 'R', 'R', 'U', 'U', 'U', 'L',
'U', 'U', 'U', 'L', 'D', 'U', 'R', 'R', 'D', 'R', 'R', 'D', 'D', 'L', 'R', 'U', 'U', 'L', 'L', 'U', 'L
, 'D', 'D', 'D', 'L', 'U', 'D', 'R', 'U', 'U', 'U', 'R', 'D', 'R', 'R', 'D', 'D', 'L', 'L', 'U', 'L',
'U', 'R', 'R', 'L', 'U', 'L', 'D', 'D', 'R', 'D', 'R', 'R', 'U', 'U', 'D', 'D', 'L', 'L', 'U', 'U']
```

```
> python3 main.py --map maps/sokoban2.txt --strategy ucs
pygame 2.5.2 (SDL 2.28.2, Python 3.10.12)
Hello from the pygame community. https://www.pygame.org/contribute.html
Number of states generated: 41530
Number of states expanded: 17251
Number of moves: 144
Time taken: 7.199639081954956
Solution: ['D', 'D', 'U', 'U', 'R', 'R', 'D', 'D', 'L', 'L', 'R', 'R',
'D', 'D', 'L', 'L', 'U', 'L', 'L', 'U', 'U', 'R', 'D', 'R', 'D', 'D', '
R', 'R', 'U', 'U', 'L', 'L', 'R', 'R', 'U', 'U', 'L', 'L', 'D', 'L', 'L
', 'D', 'D', 'D', 'R', 'R', 'U', 'U', 'L', 'R', 'R', 'R', 'U', 'U', 'L'
, 'L', 'D', 'L', 'D', 'R', 'D', 'D', 'L', 'U', 'R', 'U', 'U', 'U', 'R',
'R', 'D', 'D', 'D', 'D', 'L', 'L', 'U', 'U', 'R', 'L', 'D', 'D', 'R',
'R', 'U', 'U', 'L', 'L', 'D', 'L', 'L', 'D', 'R', 'R', 'U', 'U', 'U', '
L', 'D', 'R', 'D', 'D', 'L', 'L', 'U', 'R', 'U', 'R', 'R', 'R', 'U', 'D
', 'D', 'D', 'L', 'L', 'U', 'L', 'U', 'R', 'R', 'L', 'D', 'D', 'R', 'R'
, 'U', 'U', 'L', 'L', 'D', 'L', 'L', 'D', 'R', 'R', 'R', 'L', 'U', 'U',
'U', 'L', 'L', 'D']
```

```
> python3 main.py --map maps/sokoban2.txt --strategy astar
pygame 2.5.2 (SDL 2.28.2, Python 3.10.12)
Hello from the pygame community. https://www.pygame.org/contribute.html
Number of states generated: 41509
Number of states expanded: 17242
Number of moves: 144
Time taken: 7.175089359283447
Solution: ['D', 'D', 'U', 'U', 'R', 'R', 'D', 'D', 'L', 'L', 'R', 'R',
'D', 'D', 'L', 'L', 'U', 'L', 'L', 'U', 'U', 'R', 'D', 'R', 'D', 'D', '
R', 'R', 'U', 'U', 'L', 'L', 'R', 'R', 'U', 'U', 'L', 'L', 'D', 'L', 'L
', 'D', 'D', 'D', 'R', 'R', 'U', 'U', 'L', 'R', 'R', 'R', 'U', 'U', 'L'
, 'L', 'D', 'L', 'D', 'R', 'D', 'D', 'L', 'U', 'R', 'U', 'U', 'U', 'R',
 'R', 'D', 'D', 'D', 'D', 'L', 'L', 'U', 'U', 'R', 'L', 'D', 'D', 'R',
'R', 'U', 'U', 'L', 'L', 'D', 'L', 'L', 'D', 'R', 'R', 'U', 'U', 'U', '
L', 'D', 'R', 'D', 'D', 'L', 'L', 'U', 'R', 'U', 'R', 'R', 'R', 'U', 'D
', 'D', 'D', 'L', 'L', 'U', 'L', 'U', 'R', 'R', 'L', 'D', 'D', 'R', 'R'
, 'U', 'U', 'L', 'L', 'L', 'D', 'L', 'D', 'R', 'R', 'R', 'L', 'U', 'U',
 'L', 'U', 'L', 'D']
```

```
> python3 main.py --map maps/sokoban2.txt --strategy greedy
pygame 2.5.2 (SDL 2.28.2, Python 3.10.12)
Hello from the pygame community. https://www.pygame.org/contribute.html
Number of states generated: 38393
Number of states expanded: 15920
Number of moves: 198
Time taken: 6.797800540924072
Solution: ['D', 'D', 'U', 'U', 'R', 'R', 'D', 'D', 'L', 'L', 'R', 'R',
'D', 'D', 'L', 'L', 'U', 'L', 'L', 'U', 'U', 'R', 'D', 'R', 'D', 'D', '
R', 'R', 'U', 'U', 'U', 'U', 'L', 'L', 'D', 'D', 'U', 'L', 'L', 'D', 'D
', 'D', 'R', 'R', 'L', 'L', 'U', 'U', 'U', 'R', 'R', 'U', 'R', 'R', 'D'
, 'D', 'L', 'L', 'U', 'L', 'L', 'D', 'D', 'D', 'R', 'R', 'U', 'U', 'L',
 'U', 'L', 'D', 'R', 'R', 'R', 'R', 'U', 'U', 'L', 'L', 'D', 'L', 'D',
'R', 'D', 'D', 'L', 'U', 'D', 'L', 'U', 'D', 'R', 'R', 'U', 'U', 'U', '
U', 'R', 'R', 'D', 'D', 'D', 'D', 'L', 'L', 'R', 'R', 'U', 'U', 'U', 'U
', 'L', 'L', 'D', 'D', 'R', 'L', 'D', 'D', 'R', 'R', 'U', 'U', 'L', 'L'
, 'D', 'L', 'L', 'D', 'R', 'R', 'U', 'U', 'U', 'L', 'D', 'U', 'L', 'D',
 'R', 'R', 'D', 'D', 'L', 'L', 'U', 'R', 'U', 'R', 'R', 'R', 'D', 'D',
'L', 'L', 'U', 'L', 'U', 'R', 'D', 'D', 'R', 'R', 'U', 'U', 'U', 'D', '
D', 'D', 'L', 'L', 'U', 'U', 'R', 'L', 'D', 'D', 'R', 'R', 'U', 'U', 'L
', 'L', 'D', 'L', 'L', 'D', 'R', 'R', 'R', 'L', 'U', 'U', 'U', 'L', 'L'
, 'D']
```

sokoban3.txt

```
> python3 main.py --map maps/sokoban3.txt --strategy bfs
pygame 2.5.2 (SDL 2.28.2, Python 3.10.12)
Hello from the pygame community. https://www.pygame.org/contribute.html
Number of states generated: 95987
Number of states expanded: 36761
Number of moves: 34
Time taken: 21.127037048339844
Solution: ['R', 'U', 'R', 'R', 'D', 'D', 'D', 'D', 'L', 'D', 'R', 'U',
'U', 'U', 'U', 'L', 'L', 'L', 'R', 'D', 'R', 'D', 'R', 'D', 'D', 'L', '
L', 'D', 'L', 'L', 'U', 'U', 'D', 'R']
```

```
> python3 main.py --map maps/sokoban3.txt --strategy dfs
pygame 2.5.2 (SDL 2.28.2, Python 3.10.12)
Hello from the pygame community. https://www.pygame.org/contribute.html
Number of states generated: 2017390
Number of states expanded: 784578
Number of moves: 142
Time taken: 431.402410030365
Solution: ['R', 'U', 'R', 'R', 'D', 'D', 'D', 'D', 'L', 'D', 'U', 'R',
'U', 'U', 'U', 'L', 'U', 'R', 'D', 'D', 'D', 'D', 'L', 'D', 'L', 'U', '
R', 'D', 'R', 'U', 'U', 'U', 'U', 'U', 'L', 'D', 'L', 'U', 'R', 'D', 'R
', 'D', 'D', 'D', 'D', 'L', 'U', 'L', 'D', 'D', 'L', 'L', 'U', 'U', 'D'
, 'D', 'R', 'R', 'U', 'U', 'R', 'D', 'R', 'U', 'U', 'U', 'U', 'U', 'L',
 'D', 'L', 'D', 'R', 'U', 'U', 'L', 'D', 'L', 'R', 'U', 'R', 'D', 'D',
'D', 'R', 'U', 'D', 'D', 'D', 'L', 'U', 'U', 'U', 'D', 'D', 'D', 'L', '
D', 'L', 'L', 'U', 'R', 'R', 'U', 'R', 'U', 'R', 'U', 'U', 'L', 'U', 'R', 'D
', 'U', 'R', 'D', 'U', 'L', 'D', 'D', 'D', 'R', 'U', 'D', 'D', 'D', 'L'
, 'U', 'U', 'U', 'L', 'U', 'U', 'R', 'D', 'U', 'R', 'D', 'U', 'L', 'D',
 'D', 'D']
```

```
> python3 main.py --map maps/sokoban3.txt --strategy ucs
pygame 2.5.2 (SDL 2.28.2, Python 3.10.12)
Hello from the pygame community. https://www.pygame.org/contribute.html
Number of states generated: 89904
Number of states expanded: 34700
Number of moves: 34
Time taken: 20.695178508758545
Solution: ['R', 'U', 'R', 'R', 'D', 'D', 'D', 'D', 'L', 'D', 'R', 'U',
'U', 'U', 'U', 'L', 'L', 'L', 'R', 'D', 'R', 'D', 'R', 'D', 'D', 'L', '
L', 'D', 'L', 'L', 'U', 'U', 'D', 'R']
```

```
> python3 main.py --map maps/sokoban3.txt --strategy astar
pygame 2.5.2 (SDL 2.28.2, Python 3.10.12)
Hello from the pygame community. https://www.pygame.org/contribute.html
Number of states generated: 35011
Number of states expanded: 13669
Number of moves: 34
Time taken: 8.312091588973999
Solution: ['R', 'U', 'R', 'R', 'D', 'D', 'D', 'D', 'L', 'D', 'R', 'U',
'U', 'U', 'U', 'L', 'L', 'L', 'R', 'D', 'R', 'D', 'R', 'D', 'D', 'L', '
L', 'D', 'L', 'L', 'U', 'R', 'L', 'U']
```

```
> python3 main.py --map maps/sokoban3.txt --strategy greedy
pygame 2.5.2 (SDL 2.28.2, Python 3.10.12)
Hello from the pygame community. https://www.pygame.org/contribute.html
Number of states generated: 21881
Number of states expanded: 8591
Number of moves: 38
Time taken: 4.857614278793335
Solution: ['R', 'U', 'R', 'R', 'D', 'L', 'L', 'L', 'R', 'R', 'R', 'D',
'D', 'D', 'L', 'D', 'R', 'U', 'U', 'U', 'U', 'L', 'L', 'D', 'R', 'D', '
R', 'D', 'D', 'L', 'L', 'D', 'L', 'L', 'U', 'U', 'D', 'R']
```

sokoban4.txt

```
> python3 main.py --map maps/sokoban4.txt --strategy bfs
pygame 2.5.2 (SDL 2.28.2, Python 3.10.12)
Hello from the pygame community. https://www.pygame.org/contribute.html
Number of states generated: 156302
Number of states expanded: 63570
Number of moves: 72
Time taken: 27.043376207351685
Solution: ['D', 'D', 'L', 'U', 'R', 'U', 'U', 'L', 'L', 'L', 'D', 'D',
'R', 'R', 'D', 'R', 'U', 'D', 'L', 'D', 'D', 'R', 'U', 'U', 'L', 'U', '
L', 'L', 'U', 'U', 'R', 'R', 'D', 'D', 'D', 'R', 'D', 'D', 'L', 'U', 'D
', 'L', 'L', 'U', 'R', 'U', 'D', 'D', 'R', 'R', 'U', 'U', 'L', 'R', 'D'
, 'D', 'L', 'L', 'U', 'R', 'U', 'U', 'U', 'U', 'R', 'R', 'D', 'L', 'U',
'L', 'D', 'D']
```

```
> python3 main.py --map maps/sokoban4.txt --strategy dfs
pygame 2.5.2 (SDL 2.28.2, Python 3.10.12)
Hello from the pygame community. https://www.pygame.org/contribute.html
Number of states generated: 158297
Number of states expanded: 64446
Number of moves: 174
Time taken: 28.03526473045349
Solution: ['U', 'L', 'D', 'U', 'R', 'D', 'D', 'D', 'L', 'U', 'D', 'D',
'D', 'L', 'L', 'U', 'R', 'D', 'R', 'R', 'U', 'L', 'U', 'U', 'R', 'U', '
U', 'L', 'L', 'L', 'D', 'D', 'R', 'L', 'U', 'U', 'R', 'R', 'R', 'D', 'D
', 'D', 'U', 'U', 'U', 'L', 'L', 'L', 'D', 'D', 'R', 'R', 'D', 'R', 'U'
, 'D', 'L', 'D', 'D', 'L', 'L', 'U', 'R', 'D', 'R', 'R', 'U', 'U', 'D',
'L', 'U', 'U', 'L', 'L', 'U', 'U', 'R', 'R', 'D', 'U', 'U', 'U', 'R',
'R', 'D', 'L', 'U', 'L', 'L', 'L', 'D', 'D', 'R', 'R', 'D', 'R', 'U', '
D', 'D', 'D', 'L', 'U', 'D', 'L', 'L', 'U', 'R', 'D', 'R', 'R', 'U', 'U
', 'U', 'L', 'L', 'D', 'U', 'R', 'R', 'D', 'L', 'U', 'L', 'L', 'U', 'U'
, 'R', 'R', 'D', 'U', 'L', 'L', 'D', 'D', 'R', 'R', 'D', 'R', 'D', 'D',
'L', 'U', 'D', 'L', 'L', 'U', 'R', 'U', 'D', 'D', 'R', 'R', 'U', 'U',
'L', 'R', 'D', 'D', 'L', 'L', 'U', 'R', 'U', 'U', 'U', 'U', 'R', 'R', '
D', 'L', 'U', 'L', 'D', 'D']
```

```
> python3 main.py --map maps/sokoban4.txt --strategy ucs
pygame 2.5.2 (SDL 2.28.2, Python 3.10.12)
Hello from the pygame community. https://www.pygame.org/contribute.html
Number of states generated: 156082
Number of states expanded: 63483
Number of moves: 72
Time taken: 28.523833990097046
Solution: ['D', 'D', 'L', 'R', 'U', 'U', 'U', 'L', 'L', 'L', 'D', 'D',
'R', 'R', 'D', 'R', 'U', 'L', 'D', 'D', 'D', 'R', 'U', 'U', 'L', 'U', '
L', 'L', 'U', 'U', 'R', 'R', 'D', 'D', 'D', 'R', 'D', 'D', 'L', 'U', 'D
', 'L', 'L', 'U', 'R', 'U', 'D', 'D', 'R', 'R', 'U', 'U', 'L', 'R', 'D'
, 'D', 'L', 'L', 'U', 'R', 'U', 'U', 'U', 'U', 'R', 'R', 'D', 'L', 'U',
'L', 'D', 'D']
```

```
> python3 main.py --map maps/sokoban4.txt --strategy astar
pygame 2.5.2 (SDL 2.28.2, Python 3.10.12)
Hello from the pygame community. https://www.pygame.org/contribute.html
Number of states generated: 154006
Number of states expanded: 62610
Number of moves: 72
Time taken: 29.18876361846924
Solution: ['D', 'D', 'L', 'R', 'U', 'U', 'U', 'L', 'L', 'L', 'D', 'D',
'R', 'R', 'D', 'R', 'U', 'D', 'L', 'D', 'D', 'R', 'U', 'U', 'L', 'U', '
L', 'L', 'U', 'U', 'R', 'R', 'D', 'D', 'D', 'R', 'D', 'D', 'L', 'U', 'D
', 'L', 'L', 'U', 'R', 'U', 'D', 'D', 'R', 'R', 'U', 'U', 'L', 'R', 'D'
, 'D', 'L', 'L', 'U', 'R', 'U', 'U', 'U', 'U', 'R', 'R', 'D', 'L', 'U',
 'L', 'D', 'D']
```

```
> python3 main.py --map maps/sokoban4.txt --strategy greedy
pygame 2.5.2 (SDL 2.28.2, Python 3.10.12)
Hello from the pygame community. https://www.pygame.org/contribute.html
Number of states generated: 73228
Number of states expanded: 29993
Number of moves: 108
Time taken: 13.364040851593018
Solution: ['D', 'D', 'L', 'U', 'R', 'U', 'U', 'L', 'L', 'L', 'D', 'D',
'R', 'R', 'D', 'R', 'U', 'D', 'L', 'D', 'D', 'L', 'L', 'U', 'R', 'D', '
R', 'R', 'U', 'U', 'L', 'U', 'L', 'L', 'U', 'U', 'R', 'R', 'D', 'U', 'L
', 'L', 'D', 'D', 'R', 'D', 'R', 'R', 'D', 'D', 'L', 'L', 'U', 'D', 'R'
, 'R', 'U', 'L', 'U', 'U', 'L', 'L', 'U', 'U', 'R', 'R', 'D', 'D', 'D',
 'R', 'D', 'D', 'L', 'U', 'D', 'L', 'L', 'U', 'R', 'U', 'D', 'D', 'R',
'R', 'U', 'L', 'R', 'U', 'L', 'D', 'D', 'L', 'L', 'U', 'R', 'R', 'U', '
U', 'U', 'U', 'R', 'R', 'D', 'L', 'U', 'L', 'D', 'D']
```