

N-queens problem

Problem formulation

The problem formulation consists of finding an arrangement of n queens on a $n \times n$ board such that they do not pose any threat to any other queen on the board.

Program Structure

input_size_board, print_board, and generate_random_board functions

1. The input_size_board function takes in the size of the board, n .
2. The print_board function prints the board in a good format.
3. The generate_random_board function generates a board with queens randomly placed on the board row-wise.

find_collisions function

The function takes in the board. It chooses one queen, and looks for which other queens have collisions with the current one, first one step neighbors, then two step neighbors, and so on . It also maintains track of the collisions that are occurring. It returns the total collisions on the board.

determine_h_cost function

The function determines the heuristic value for each board by calling the find_collisions function and dividing the collisions by 2, since each collision is counted twice.

find_child function

The function returns a child by finding the next state that can be achieved from the current state (moving the queens row-wise to a smaller heuristic value position) and whose heuristic value is the least amongst all children of the current state when sideways moves are not allowed. If sideways moves are allowed, the algorithm chooses randomly amongst nodes having the same heuristic value.

steepest_hill_climbing function

Runs the steepest hill climbing method for finding a solution to the n -queens problem. It calls the find_child function for finding the least cost child and follows the path to until a solution is found.

steepest_hill_climbing_with_sideways_move function

Runs the steepest hill climbing method for finding a solution to the n -queens problem. It calls the find_child function for finding the least cost child, allows for sideways moves and follows the path to until a solution is found.

steepest_hill_climbing_with_random_restart function

Runs the steepest hill climbing method for finding a solution to the n-queens problem. It calls the find_child function for finding the least cost child and follows the path to until a solution is found. If a child cannot be found, the function generates a random board to initialize hill climbing again.

steepest_hill_climbing_with_random_restart_and_sideways_move function

Runs the steepest hill climbing method for finding a solution to the n-queens problem. It calls the find_child function for finding the least cost child, allows for sideways moves and follows the path to until a solution is found. If a child cannot be found, the function generates a random board to initialize hill climbing again.

Statistical Results

- A. Steepest Ascent Hill Climbing
 - a. Success rate: 0.135
 - b. Failure rate: 0.865
 - c. Average steps until success: 4.037037037037037
 - d. Average steps until failure: 4.0
 - e. [Search sequences given in the last section]
- B. Hill Climbing with Sideways Move
 - a. Success rate: 0.95
 - b. Failure rate: 0.050000000000000044
 - c. Average steps until success: 21.273684210526316
 - d. Average steps until failure: 65.3
 - e. [Search sequences given in the last section]
- C. Random Restart Hill Climbing
 - a. Steepest Hill Climbing with Random Restart:
 - i. Success rate: 1.0
 - ii. Average steps taken: 27.04
 - iii. Random restarts required: 1134
 - b. Steepest Hill Climbing with Random Restart and Sideways Move:
 - i. Success rate: 0.99
 - ii. Average steps taken: 23.151515151515152
 - iii. Random restarts required with sideways move: 4

Sample Execution Results

Enter an integer for the size of the board: 8

Steepest Hill Climbing:

Run 1:

Board:

```
00010000
00100000
00000100
00100000
00100000
10000000
00000001
00000001
```

H value: 8

Board:

```
00010000
01000000
00000100
00100000
00100000
10000000
00000001
00000001
```

H value: 5

Board:

```
00010000
01000000
00000100
00100000
00100000
10000000
00000001
00001000
```

H value: 3

Board:

```
00010000
01000000
00000010
00100000
00100000
10000000
00000001
00001000
```

Run 2:

Board:

```
10000000
00001000
00000001
00000010
01000000
00001000
10000000
00000010
```

H value: 9

Board:

```
10000000
00001000
00000001
00000100
01000000
00001000
10000000
00000010
```

H value: 5

Board:

```
10000000
00100000
00000001
00000100
01000000
00001000
10000000
00000010
```

H value: 3

Board:

```
10000000
00100000
00000001
00000100
01000000
00010000
10000000
00000010
```

Run 3:

Board:

```
01000000
00000010
00010000
00000010
00010000
00000100
00001000
01000000
```

H value: 6

Board:

```
00100000
00000010
00010000
00000010
00010000
00000100
00001000
01000000
```

H value: 4

Board:

```
00100000
00000010
00010000
00000010
10000000
00000100
00001000
01000000
```

H value: 2

Failure.

H value: 2

Board:

00010000
01000000
00000010
00000100
00100000
10000000
00000001
00001000

H value: 1

Failure.

H value: 2

Board:

00001000
00100000
00000001
00000100
01000000
00010000
10000000
00000010

H value: 1

Failure.

Steepest Hill Climbing with Sideways Move:

Run 1:

Board:

01000000
00000001
10000000
00001000
00010000
00000001
00001000
00100000
H value: 5

Board:

01000000
00000100
10000000
00001000
00010000
00000001
00001000
00100000
H value: 4

Board:

00000100
00000100
10000000
00001000
00010000
00000001
00001000
00100000
H value: 4

Board:

00000100
00000100
10000000
00000010
00010000

Run 2:

Board:

10000000
01000000
00010000
00010000
00000010
10000000
00001000
00100000
H value: 8

Board:

00000001
01000000
00010000
00010000
00000010
10000000
00001000
00100000
H value: 5

Board:

00000001
01000000
00010000
10000000
00000010
10000000
00001000
00100000
H value: 4

Board:

00000001
01000000
00010000
10000000
00000010

Run 3:

Board:

01000000
00100000
00010000
00000001
00001000
01000000
10000000
00000100
H value: 5

Board:

01000000
00000010
00010000
00000001
00001000
01000000
10000000
00000100
H value: 3

Board:

00100000
00000010
00010000
00000001
00001000
01000000
10000000
00000100
H value: 1

Board:

00100000
00000010
00010000
00000001
00001000

00000001
00001000
00100000
H value: 3

Board:
00000100
00000100
10000000
00000010
00010000
00000001
00001000
01000000
H value: 2

Board:
01000000
00000100
10000000
00000010
00010000
00000001
00001000
01000000
H value: 2

Board:
01000000
00000100
00100000
00000010
00010000
00000001
00001000
01000000
H value: 1

Board:
00000100
00000100
00100000
00000010
00010000
00000001
00001000
01000000
H value: 1

Board:
00000100
00100000
00100000
00000010
00010000
00000001
00001000
01000000
H value: 1

01000000
00001000
00100000
H value: 2

Board:
00000001
01000000
00010000
10000000
00000010
01000000
00000100
00100000
H value: 1

Board:
00001000
01000000
00010000
10000000
00000010
01000000
00000100
00100000
H value: 1

Board:
00001000
00000001
00010000
10000000
00000010
01000000
00000100
00100000
H value: 0

Success.

01000000
00000100
00000100
H value: 1

Board:
00100000
00000010
00010000
00000001
00001000
01000000
00000100
00100000
H value: 1

Board:
00100000
00000010
00010000
10000000
00001000
01000000
00000100
00100000
H value: 1

Board:
00100000
00000010
00010000
10000000
00001000
01000000
00000100
00000100
H value: 1

Board:
00100000
00000010
00010000
10000000
00001000
01000000
00000100
00000001
H value: 1

Board:
00100000
00000010
00010000
10000000
00001000
01000000
00000100
00100000
H value: 1

Board:
00000100
00100000
10000000
00000010
00010000
00000001
00001000
01000000
H value: 1

Board:
00000100
00100000
00100000
00000010
00010000
00000001
00001000
01000000
H value: 1

Board:
00000100
00000100
00100000
00000010
00010000
00000001
00001000
01000000
H value: 1

Board:
00000100
00100000
00100000
00000010
00010000
00000001
00001000
01000000
H value: 1

Board:
00000100
00100000
10000000
00000010
00010000
00000001
00001000
01000000
H value: 1

Board:
00000100
00100000
00100000
00000010

Board:
00000001
00000010
00010000
10000000
00001000
01000000
00000100
00100000
H value: 1

Board:
00100000
00000010
00010000
10000000
00001000
01000000
00000100
00100000
H value: 1

Board:
00100000
00000010
00010000
00000001
00001000
01000000
00000100
00100000
H value: 1

Board:
10000000
00000010
00010000
00000001
00001000
01000000
00000100
00100000
H value: 1

Board:
00010000
00000010
00010000
00000001
00001000
01000000
00000100
00100000
H value: 1

Board:
00010000
00000010
10000000
00000001

00010000
00000001
00001000
01000000
H value: 1

Board:
00000100
00000100
00100000
00000010
00010000
00000001
00001000
01000000
H value: 1

Board:
10000000
00000100
00100000
00000010
00010000
00000001
00001000
01000000
H value: 1

Board:
10000000
00000100
00010000
00000010
00010000
00000001
00001000
01000000
H value: 1

Board:
10000000
00000100
00100000
00000010
00010000
00000001
00001000
01000000
H value: 1

Board:
10000000
00000100
00010000
00000010
00010000
00000001
00001000
01000000
H value: 1

00001000
01000000
00000100
00100000
H value: 0

Success.

Board:
10000000
00000100
00010000
00000010
10000000
00000001
00001000
01000000
H value: 1

Board:
00100000
00000100
00010000
00000010
10000000
00000001
00001000
01000000
H value: 1

Board:
10000000
00000100
00010000
00000010
10000000
00000001
00001000
01000000
H value: 1

Board:
10000000
00000100
00010000
00000010
10000000
00100000
00001000
01000000
H value: 1

Board:
10000000
00000100
00010000
00000010
00000001
00100000
00001000
01000000
H value: 1

Board:
10000000
00000100
00010000

00000010
10000000
00100000
00001000
01000000
H value: 1

Board:
10000000
00000100
00010000
00000010
00000001
00100000
00001000
01000000
H value: 1

Board:
10000000
00000100
00010000
00000010
10000000
00100000
00001000
01000000
H value: 1

Board:
00000001
00000100
00010000
00000010
10000000
00100000
00001000
01000000
H value: 1

Board:
00100000
00000100
00010000
00000010
10000000
00100000
00001000
01000000
H value: 1

Board:
10000000
00000100
00010000
00000010
10000000
00100000
00001000
01000000

H value: 1

Board:

```
00100000
00000100
00010000
00000010
10000000
00100000
00001000
01000000
```

H value: 1

Board:

```
00100000
00000100
00010000
00000010
10000000
00000001
00001000
01000000
```

H value: 1

Board:

```
00000001
00000100
00010000
00000010
10000000
00000001
00001000
01000000
```

H value: 1

Board:

```
10000000
00000100
00010000
00000010
10000000
00000001
00001000
01000000
```

H value: 1

Board:

```
10000000
00000100
00010000
00000010
00010000
00000001
00001000
01000000
```

H value: 1

Board:

```
10000000
00000100
```

00010000
00000010
10000000
00000001
00001000
01000000
H value: 1

Board:
10000000
00000100
00010000
00000010
10000000
00100000
00001000
01000000
H value: 1

Board:
00000001
00000100
00010000
00000010
10000000
00100000
00001000
01000000
H value: 1

Board:
00000001
00000100
00010000
00000010
10000000
00000001
00001000
01000000
H value: 1

Board:
10000000
00000100
00010000
00000010
10000000
00000001
00001000
01000000
H value: 1

Board:
00100000
00000100
00010000
00000010
10000000
00000001
00001000

01000000
H value: 1

Board:
00000001
00000100
00010000
00000010
10000000
00000001
00001000
01000000
H value: 1

Board:
00000001
00000100
00010000
00000010
10000000
00100000
00001000
01000000
H value: 1

Board:
00100000
00000100
00010000
00000010
10000000
00100000
00001000
01000000
H value: 1

Board:
00100000
00000100
00010000
00000010
10000000
00000001
00001000
01000000
H value: 1

Board:
10000000
00000100
00010000
00000010
10000000
00000001
00001000
01000000
H value: 1

Board:
00100000

00000100
00010000
00000010
10000000
00000001
00001000
01000000
H value: 1

Board:
00000001
00000100
00010000
00000010
10000000
00000001
00001000
01000000
H value: 1

Board:
10000000
00000100
00010000
00000010
10000000
00000001
00001000
01000000
H value: 1

Board:
00100000
00000100
00010000
00000010
10000000
00000001
00001000
01000000
H value: 1

Board:
10000000
00000100
00010000
00000010
10000000
00000001
00001000
01000000
H value: 1

Board:
00100000
00000100
00010000
00000010
10000000
00000001

00001000
01000000
H value: 1

Board:
00000001
00000100
00010000
00000010
10000000
00000001
00001000
01000000
H value: 1

Board:
00000001
00000100
00010000
00000010
10000000
00100000
00001000
01000000
H value: 1

Board:
10000000
00000100
00010000
00000010
10000000
00100000
00001000
01000000
H value: 1

Board:
10000000
00000100
00010000
00000010
10000000
00000001
00001000
01000000
H value: 1

Board:
10000000
00000100
00010000
00000010
00010000
00000001
00001000
01000000
H value: 1

Board:

10000000
00000100
00010000
00000010
10000000
00000001
00001000
01000000
H value: 1

Board:
10000000
00000100
00010000
00000010
10000000
00100000
00001000
01000000
H value: 1

Board:
10000000
00000100
00010000
00000010
00000001
00100000
00001000
01000000
H value: 1

Board:
10000000
00000100
00010000
00000010
10000000
00100000
00001000
01000000
H value: 1

Board:
10000000
00000100
00010000
00000010
00000001
00100000
00001000
01000000
H value: 1

Board:
10000000
00000100
00010000
00000010
10000000

00100000
00001000
01000000
H value: 1

Board:
10000000
00000100
00010000
00000010
10000000
00000001
00001000
01000000
H value: 1

Board:
00000001
00000100
00010000
00000010
10000000
00000001
00001000
01000000
H value: 1

Board:
10000000
00000100
00010000
00000010
10000000
00000001
00001000
01000000
H value: 1

Board:
10000000
00000100
00010000
00000010
00010000
00000001
00001000
01000000
H value: 1

Board:
10000000
00000100
00010000
00000010
10000000
00000001
00001000
01000000
H value: 1

Board:
00000001
00000100
00010000
00000010
10000000
00000001
00001000
01000000
H value: 1

Board:
10000000
00000100
00010000
00000010
10000000
00000001
00001000
01000000
H value: 1

Board:
10000000
00000100
00010000
00000010
10000000
00100000
00001000
01000000
H value: 1

Board:
00100000
00000100
00010000
00000010
10000000
00100000
00001000
01000000
H value: 1

Board:
10000000
00000100
00010000
00000010
10000000
00100000
00001000
01000000
H value: 1

Board:
00100000
00000100
00010000
00000010

10000000
00100000
00001000
01000000
H value: 1

Board:
10000000
00000100
00010000
00000010
10000000
00100000
00001000
01000000
H value: 1

Board:
10000000
00000100
00010000
00000010
00000001
00100000
00001000
01000000
H value: 1

Board:
10000000
00000100
00010000
00000010
10000000
00100000
00001000
01000000
H value: 1

Board:
10000000
00000100
00010000
00000010
10000000
00000001
00001000
01000000
H value: 1

Board:
10000000
00000100
00010000
00000010
00010000
00000001
00001000
01000000
H value: 1

Board:
10000000
00000100
00010000
00000010
10000000
00000001
00001000
01000000
H value: 1

Board:
00000001
00000100
00010000
00000010
10000000
00000001
00001000
01000000
H value: 1

Board:
10000000
00000100
00010000
00000010
10000000
00000001
00001000
01000000
H value: 1

Board:
00100000
00000100
00010000
00000010
10000000
00000001
00001000
01000000
H value: 1

Board:
10000000
00000100
00010000
00000010
10000000
00000001
00001000
01000000
H value: 1

Board:
00100000
00000100
00010000

00000010
10000000
00000001
00001000
01000000
H value: 1

Board:
00100000
00000100
00010000
00000010
10000000
00100000
00001000
01000000
H value: 1

Board:
00100000
00000100
00010000
00000010
10000000
00100000
00001000
00000001
H value: 1

Board:
01000000
00000100
00010000
00000010
10000000
00100000
00001000
00000001
H value: 1

Board:
00100000
00000100
00010000
00000010
10000000
00100000
00001000
00000001
H value: 1

Board:
00100000
00000100
01000000
00000010
10000000
00100000
00001000
00000001

H value: 1

Board:

```
00100000
00000100
01000000
00000010
10000000
10000000
00001000
00000001
```

H value: 1

Board:

```
00100000
00000100
01000000
00000010
00010000
10000000
00001000
00000001
```

H value: 1

Board:

```
00100000
00000100
01000000
00000010
10000000
10000000
00001000
00000001
```

H value: 1

Board:

```
00100000
00000100
01000000
00000010
10000000
00000010
00001000
00000001
```

H value: 1

Board:

```
00100000
00000100
01000000
00000010
10000000
00100000
00001000
00000001
```

H value: 1

Board:

```
00100000
00000100
```

00010000
00000010
10000000
00100000
00001000
00000001
H value: 1

Board:
00100000
00000100
01000000
00000010
10000000
00100000
00001000
00000001
H value: 1

Board:
00000100
00000100
01000000
00000010
10000000
00100000
00001000
00000001
H value: 1

Board:
00000100
00000001
01000000
00000010
10000000
00100000
00001000
00000001
H value: 1

Board:
00000100
00010000
01000000
00000010
10000000
00100000
00001000
00000001
H value: 1

Board:
00000100
00000001
01000000
00000010
10000000
00100000
00001000

00000001
H value: 1

Board:
00000100
00000100
01000000
00000010
10000000
00100000
00001000
00000001
H value: 1

Board:
00000100
00000001
01000000
00000010
10000000
00100000
00001000
00000001
H value: 1

Board:
00000100
00000100
01000000
00000010
10000000
00100000
00001000
00000001
H value: 1

Board:
00000100
00000001
01000000
00000010
10000000
00100000
00001000
00000001
H value: 1

Board:
00000100
00000100
01000000
00000010
10000000
00100000
00001000
00000001
H value: 1

Board:
00000100

00010000
01000000
00000010
10000000
00100000
00001000
00000001
H value: 1

Board:
00000100
00000001
01000000
00000010
10000000
00100000
00001000
00000001
H value: 1

Board:
00000100
00010000
01000000
00000010
10000000
00100000
00001000
00000001
H value: 1

Board:
00000100
00000001
01000000
00000010
10000000
00100000
00001000
00000001
H value: 1

Board:
00000100
00000100
01000000
00000010
10000000
00100000
00001000
00000001
H value: 1

Board:
00000100
00000001
01000000
00000010
10000000
00100000

00001000
00000001
H value: 1

Board:
00000100
00000100
01000000
00000010
10000000
00100000
00001000
00000001
H value: 1

Board:
00000100
00000001
01000000
00000010
10000000
00100000
00001000
00000001
H value: 1

Board:
00000100
00000100
01000000
00000010
10000000
00100000
00001000
00000001
H value: 1

Board:
00000100
00000001
01000000
00000010
10000000
00100000
00001000
00000001
H value: 1

Board:
00000100
00010000
01000000
00000010
10000000
00100000
00001000
00000001
H value: 1

Board:

00000100
00000100
01000000
00000010
10000000
00100000
00001000
00000001
H value: 1

Board:
00100000
00000100
01000000
00000010
10000000
00100000
00001000
00000001
H value: 1

Board:
00100000
00000100
00010000
00000010
10000000
00100000
00001000
00000001
H value: 1

Board:
01000000
00000100
00010000
00000010
10000000
00100000
00001000
00000001
H value: 1

Board:
01000000
00000100
01000000
00000010
10000000
00100000
00001000
00000001
H value: 1

Board:
00100000
00000100
01000000
00000010
10000000

00100000
00001000
00000001
H value: 1

Board:
01000000
00000100
01000000
00000010
10000000
00100000
00001000
00000001
H value: 1

Board:
00000100
00000100
01000000
00000010
10000000
00100000
00001000
00000001
H value: 1

Board:
01000000
00000100
01000000
00000010
10000000
00100000
00001000
00000001
H value: 1

Board:
01000000
00000100
00010000
00000010
10000000
00100000
00001000
00000001
H value: 1

Board:
01000000
00000100
01000000
00000010
10000000
00100000
00001000
00000001
H value: 1

Board:
00000100
00000100
01000000
00000010
10000000
00100000
00001000
00000001
H value: 1

Board:
01000000
00000100
01000000
00000010
10000000
00100000
00001000
00000001
H value: 1

Board:
00000100
00000100
01000000
00000010
10000000
00100000
00001000
00000001
H value: 1

Board:
00100000
00000100
01000000
00000010
10000000
00100000
00001000
00000001
H value: 1

Board:
00100000
00000100
01000000
00000010
10000000
10000000
00001000
00000001
H value: 1

Board:
00100000
00000100
01000000
00000010

00010000
10000000
00001000
00000001
H value: 1

Board:
00100000
00000100
01000000
00000010
10000000
10000000
00001000
00000001
H value: 1

Board:
00100000
00000100
01000000
00000010
10000000
00100000
00001000
00000001
H value: 1

Board:
01000000
00000100
01000000
00000010
10000000
00100000
00001000
00000001
H value: 1

Board:
01000000
00000100
00010000
00000010
10000000
00100000
00001000
00000001
H value: 1

Board:
01000000
00000100
01000000
00000010
10000000
00100000
00001000
00000001
H value: 1

Board:
00000100
00000100
01000000
00000010
10000000
00100000
00001000
00000001
H value: 1

Board:
00000100
00010000
01000000
00000010
10000000
00100000
00001000
00000001
H value: 1

Board:
00000100
00000100
01000000
00000010
10000000
00100000
00001000
00000001
H value: 1

Board:
00100000
00000100
01000000
00000010
10000000
00100000
00001000
00000001
H value: 1

Board:
00100000
00000100
01000000
00000010
10000000
00010000
00001000
00000001
H value: 1

Board:
00100000
00000100
01000000

00000010
10000000
10000000
00001000
00000001
H value: 1

Board:
00100000
00000100
01000000
00000010
10000000
00010000
00001000
00000001
H value: 1

Board:
00100000
00000100
01000000
00000010
10000000
00100000
00001000
00000001
H value: 1

Board:
00100000
00000100
01000000
00000010
10000000
00010000
00001000
00000001
H value: 1

Board:
00100000
00000100
01000000
00000010
10000000
00000010
00001000
00000001
H value: 1

Board:
00100000
00000100
01000000
00000010
10000000
00010000
00001000
00000001



H value: 1

Board:

00100000

00000100

01000000

00000010

10000000

00010000

00000001

00000001

H value: 1

Board:

00100000

00000100

01000000

00000010

10000000

00010000

00000001

00001000

H value: 0

Success.

