

Maze (Trabajo Práctico Final - Programación 2)

Juan Cruz de La Torre - (LCC: D-4103/3 / LF: D-4104/1)

generate-maze.c

Modo de uso:

- `./generate-maze [archivo-de-entrada.txt] [archivo-de-salida.txt]`

El archivo de entrada debe tener el siguiente formato:

- La primer línea expresa las dimensiones del laberinto separadas por un espacio (máximo: 15 15)
- La segunda línea expresa las coordenadas del objetivo separadas por un espacio (máximo: 20 20)
- El resto de las líneas expresan las coordenadas de las paredes separadas un espacio (máximo 20 líneas)

Por ejemplo: (*archivo-de-entrada.txt*)

```
4 4
0 3
0 1
1 1
2 1
0 2
1 2
2 2
```

Genera: (*archivo-de-salida.txt*)

```
0112
0110
0110
0000
```

No es necesario que el archivo de salida exista con anterioridad.

solve-maze.py

Modo de uso:

- `python solve-maze.py [laberinto.txt]`

El archivo a recibir debe contener un laberinto de la forma:

```
0100010001
0101010101
0101010101
0101010101
0101010101
```

```
0101010101
0101010101
0101010101
0101010101
0001000102
```

Los 0 representan posiciones vacías, los 1 paredes y el 2 representa el objetivo. El laberinto puede tener tantas filas y columnas como se desee.

La función `solve_maze` utiliza un algoritmo similar al de DFS (depth-first search) para hallar una lista de pasos que llevan al objetivo. Funciona de la siguiente manera:

- Recibe un laberinto (`maze`). Se representa un laberinto con una `list(list(int))`
 - `maze[i][j] == 0` representa una posición vacía.
 - `maze[i][j] == 1` representa una posición con una pared.
 - `maze[i][j] == 2` representa el objetivo.
 - `maze[i][j] == -1` representa una posición que ya ha sido visitada.
- Se inicializa una pila (`stack`) que contiene la esquina superior izquierda del laberinto `(0, 0)`
Se representa una pila con una `list[tuple(int, int)]`
- Se inicializa una lista vacía de pasos (`steps`). Se representa una lista de pasos con una `list[tuple(int, int)]`
- Mientras que no se ha llegado al objetivo y todavía hay elementos en la pila:
 - Se retira (`pop`) una tupla de la pila
 - Si dicha tupla es `(-1, -1)`: quitamos el último elemento de la lista de pasos.
 - Si no, y si la tupla representa una posición que se encuentra dentro del laberinto:
 - Si la tupla representa una posición vacía, agregamos la tupla a la lista de pasos: marcamos la posición como visitada, y agregamos a la pila una tupla `(-1, -1)` y los 4 vecinos (`neighbors`) de la posición.
 - Si no, y si la tupla representa el objetivo: agregamos la tupla a la lista de pasos y se ha llegado al objetivo.
 - Si no se cumple ninguna de las condiciones anteriores, no se hace nada.
 - Si no se cumple ninguna de las condiciones anteriores, no se hace nada.
- Se devuelve la lista de pasos.

Nota: La tupla `(-1, -1)` que se agrega junto con los vecinos a la pila tiene un uso particular:

Si se retira de la pila, significa que los 4 vecinos no llevaban al objetivo, ya sea porque representan posiciones con una pared, o ya visitadas, o fuera de las dimensiones del laberinto, o porque continuando el recorrido por ninguno de ellos lleva al objetivo.

De esta manera resulta que la última tupla que agregamos a la lista de pasos representa una posición que no lleva de ninguna forma al objetivo, y por lo tanto lo quitamos de la lista de pasos.

Rendimiento en comparación a implementaciones previas a la final

El algoritmo final no fue el mismo que el inicial. En el desarrollo de este Trabajo Práctico, probé algunas variantes del mismo y las comparé usando el decorador `@timeit` definido en `util.py`. Al final de esta sección se presenta una tabla con los tiempos de cada una usando laberintos de dimensiones varias.

`solve_maze_recursive`

Inicialmente, el algoritmo funcionaba muy parecido a la versión final pero era recursivo. Sin embargo lo descarté rápidamente porque para laberintos grandes (por ejemplo con `maze-100x100.txt` y `maze-1000x1000.txt`), llegaba al límite de recursividad establecido por Python.

`solve_maze_dumb`

Por eso decidí repensar el algoritmo y eliminar la dependencia en la recursividad. Escribí una nueva versión, y al comparar el rendimiento de ambos algoritmos resultó más rápida la esta nueva versión, excepto para `maze-10x10.txt` y `maze-50x50.txt`.

`solve_maze_BFS`

Luego, comencé a investigar como mejorar el rendimiento de `solve_maze_dumb`. Así fue como encontré referencias a BFS (breadth-first search) y DFS (depth-first search), noté que mi algoritmo era parecido a un DFS y decidí probar con una implementación de BFS. Tuve que hacer algunas modificaciones para poder construir la lista de pasos, pero el principal cambio era cambiar la pila (`stack`) por una cola (`queue`). Esta versión resultó ser más lenta que `solve_maze_dumb`, por lo que también la descarté rápidamente.

`solve_maze (final)`

Por último, noté que mi algoritmo tenía una pequeña desventaja. La prioridad que establecí para el orden en que se recorren los vecinos era ABAJO-DERECHA-ARRIBA-IZQUIERDA. Si el laberinto era algo como:

```
0 0 0 2 0
0 1 1 1 0
0 1 1 1 0
0 1 1 1 0
0 0 0 0 0
```

El recorrido que encontraba era:

```
+ 0 0 + +
+ 1 1 1 +
+ 1 1 1 +
+ 1 1 1 +
+ + + + +
```

Por lo tanto, devolvía:

```
[(0, 0), (1, 0), (2, 0), (3, 0), (4, 0), (4, 1), (4, 2), (4, 3), (4, 4), (3, 4), (2, 4), (1, 4), (0, 4), (0, 3)]
```

Es decir que en vez de tomar el camino obvio y mucho más corto, tomaba uno mucho más largo debido al orden que elegí.

Entonces, hice una pequeña modificación al camino que consistía en ordenar a los vecinos según la distancia al objetivo. De esta manera, el algoritmo intentaba primero con aquellos vecinos "más cercanos" al objetivo y luego con los "más lejanos".

```
def sorted_neighbors(row, col, goal_position):
    def distance_to_goal(position):
        return min(abs(position[0] - goal_position[0]),
                    abs(position[1] - goal_position[1]))

    return sorted(neighbors(row, col), key=distance_to_goal, reverse=True)
```

Luego de esa modificación, el recorrido que encuentra es:

```
+ + + + 0
0 1 1 1 0
0 1 1 1 0
0 1 1 1 0
0 0 0 0 0
```

Y devuelve:

```
[(0, 0), (0, 1), (0, 2), (0, 3)]
```

Aunque tiene un menor rendimiento (excepto en casos excepcionales como el mencionado), consideré razonable a esta modificación así que la incluí en la versión final. Si un mayor rendimiento es necesario, siempre es posible reemplazar la llamada de `sorted_neighbors` por `neighbors` y así volver a `solve_maze_dumb`.

A continuación se presenta una tabla con las estadísticas de rendimiento de cada implementación. Se corrió cada implementación 100 veces en cada laberinto y se calculó el rendimiento promedio.

| Implementación | maze- 10x10.txt | maze- 30x30.txt | maze- 50x50.txt | maze- 100x100.txt | maze- 1000x1000.txt |
|-----------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------|------------------------|
| <code>solve_maze (final)</code> | 0.82 ms | 1.38 ms | 6.86 ms | 14.95 ms | 765.63 ms |
| <code>solve_maze_dumb</code> | 0.15 ms | 0.66 ms | 3.11 ms | 5.79 ms | 312.18 ms |
| <code>solve_maze_recursive</code> | 0.07 ms | 0.81 ms | 2.34 ms | - | - |
| <code>solve_maze_BFS</code> | 0.19 ms | 1.25 ms | 6.44 ms | 18.26 ms | 1073.89 ms |

Rendimiento

