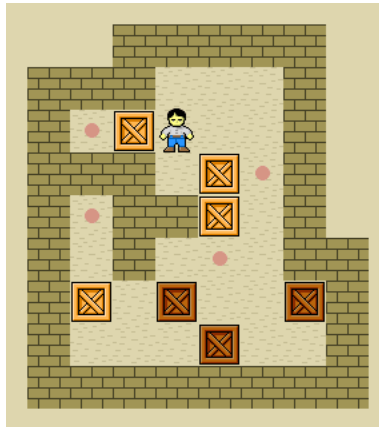


Problem 1. Sokoban là gì ?

Answer.

- Sokoban là trò chơi dạng câu đố trong đó người chơi phải đẩy một số khối vuông vượt qua chướng ngại vật để đến đích. Trò chơi đã được thiết kế vào năm 1981 bởi Hiroyuki Imabayashi và được ra mắt lần đầu vào tháng 12 năm 1982.



- Trong bài tập này, ta sẽ lần lượt sử dụng các thuật toán Uninformed Search như DFS, BFS và UCS để giải và so sánh độ hiệu quả của từng thuật toán trên 18 màn chơi.

Problem 2. Sokoban đã được mô hình hóa như thế nào ?

1. Biểu diễn bài toán

- Các màn chơi (level) sẽ được lưu dưới dạng các txt files, sau đó sẽ được load lên để hiển thị dưới dạng đồ họa 2D bằng cách convert những kí tự trong file text thành một ma trận 2 chiều các số nguyên tương ứng.

```
#####      #####      #####      #####
# . . #      # . . #      #      #      # .      #
#      #      #      #      # .XXB&#      # # # #
# BB #      #B B#      #      #      #      #
#&      #      #&      #      #####      #      # B&      #
#####      #####      #####      #####
```

- Trong đó các kí hiệu tương ứng:
 - “#” là bức tường được biểu diễn là 1.

- “B” là các box chưa nằm đúng vị trí được biểu diễn là 3.
- “X” là các box đã nằm đúng goal được biểu diễn là 5.
- “.” chính là các goal mà ta cần phải đẩy box vào được biểu diễn là 4.
- “&” chính là vị trí bắt đầu của người chơi được biểu diễn là 2.
- “ ” là các vùng trống được biểu diễn là 0

Code dùng để convert:

```
for irow in range(len(layout)):
    for icol in range(len(layout[irow])):
        if layout[irow][icol] == ' ': layout[irow][icol] = 0
        elif layout[irow][icol] == '#': layout[irow][icol] = 1
        elif layout[irow][icol] == '&': layout[irow][icol] = 2
        elif layout[irow][icol] == 'B': layout[irow][icol] = 3
        elif layout[irow][icol] == '.': layout[irow][icol] = 4
        elif layout[irow][icol] == 'X': layout[irow][icol] = 5
    colsNum = len(layout[irow])
```

2. Các yếu tố của bài toán tìm kiếm trong Sokoban

- Mỗi state mang thông tin liên quan đến vị trí hiện tại của người chơi và boxes
- Initial State là vị trí bắt đầu của player và boxes được cung cấp
- Trạng thái kết thúc là thời điểm tất cả các goal đều được filled bởi các boxes
- Actions: người chơi có thể di chuyển theo 4 hướng (Up, Down, Left, Right) ngoài ra còn có hành động đẩy các boxes (1 ô).
- Từ một state hiện tại, ta có thể sinh ra tối đa 4 state con tùy thuộc vào việc các hành động được tạo ra đó có hợp lệ hay không. Ta có thể xây dựng một kiến trúc cây với các node là những state của bài toán và node gốc là initial state.
- Các hành động không hợp lệ có thể bao gồm: di chuyển đụng tường, đẩy nhiều box chồng nhau,... Ta có thể kiểm tra tính hợp lệ của hành động thông qua hàm isLegalAction()

Ta sinh ra các hành động bằng hàm LegalActions()

```
def legalActions(posPlayer, posBox):
    """Return all legal actions for the agent in the current game
    state"""
    allActions = [[-1,0,'u','U'],[1,0,'d','D'],[0,-1,'l','L'],[0,1,
        'r','R']]
    xPlayer, yPlayer = posPlayer
    legalActions = []
    for action in allActions:
        x1, y1 = xPlayer + action[0], yPlayer + action[1]
        if (x1, y1) in posBox: # the move was a push
            action.pop(2) # drop the little letter
        else:
            action.pop(3) # drop the upper letter
        if isLegalAction(action, posPlayer, posBox):
            legalActions.append(action)
        else:
            continue

    return tuple(tuple(x) for x in legalActions) # e.g. ((0, -1, 'l'), (0, 1, 'R'))
```

- Kết quả trả về là 1 tuple với 3 thành phần: 2 thành phần đầu là cách di chuyển ứng với tọa độ x và y của player và một kí tự để xem bước đi đó có phải là đẩy box hay không (In hoa biểu thị cho hành động đẩy box)

Successor function: cập nhật vị trí của player và boxes sau mỗi action

```
def updateState(posPlayer, posBox, action):
    """Return updated game state after an action is taken"""
    xPlayer, yPlayer = posPlayer # the previous position of player
    newPosPlayer = [xPlayer + action[0], yPlayer + action[1]] # the
        current position of player
    posBox = [list(x) for x in posBox]
    if action[-1].isupper(): # if pushing, update the position of
        box
        posBox.remove(newPosPlayer)
        posBox.append([xPlayer + 2 * action[0], yPlayer + 2 * action
            [1]])
    posBox = tuple(tuple(x) for x in posBox)
    newPosPlayer = tuple(newPosPlayer)
    return newPosPlayer, posBox
```

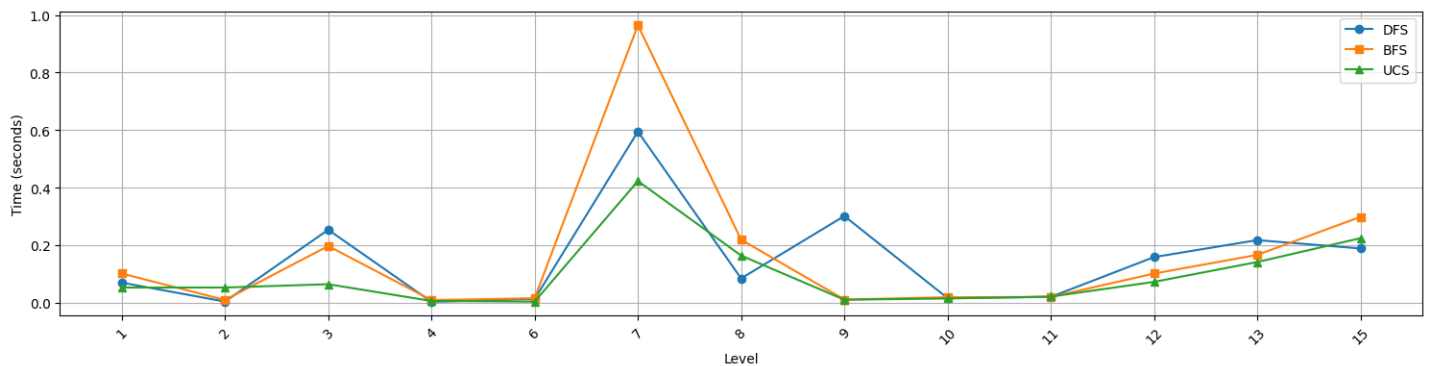
⇒ Ta có thể sử dụng các thuật toán tìm kiếm trên cây như DFS, BFS và UCS để tìm đường đi từ state ban đầu tới goal state.

Problem 3. Lập bảng thống kê và so sánh 3 thuật toán DFS, BFS và UCS

Answer. Ta sẽ lần lượt chạy 3 thuật toán trên 18 level cho sẵn và ghi lại kết quả

Bảng thống kê thời gian chạy của mỗi thuật toán ứng với từng bản đồ			
Level	DFS	BFS	UCS
1	0.069616	0.101242	0.052647
2	0.003891	0.009401	0.052647
3	0.253443	0.197012	0.06424
4	0.002997	0.008998	0.00596
5	*	212.7240	56.9723
6	0.013033	0.015529	0.003707
7	0.594837	0.964583	0.422843
8	0.084347	0.219149	0.163834
9	0.301253	0.010904	0.010275
10	0.015936	0.018935	0.014639
11	0.020026	0.019904	0.021127
12	0.158441	0.101224	0.072329
13	0.217540	0.166155	0.141282
14	4.335035	3.079731	2.391904
15	0.188528	0.298266	0.224162
16	*	22.0895	13.132285
17	25.1056	24.4073	19.932311
18	*	*	*

Note: “*” là các trường hợp chưa thể đo đạt do các vấn đề về tràn RAM hoặc mất quá lâu để ra kết quả

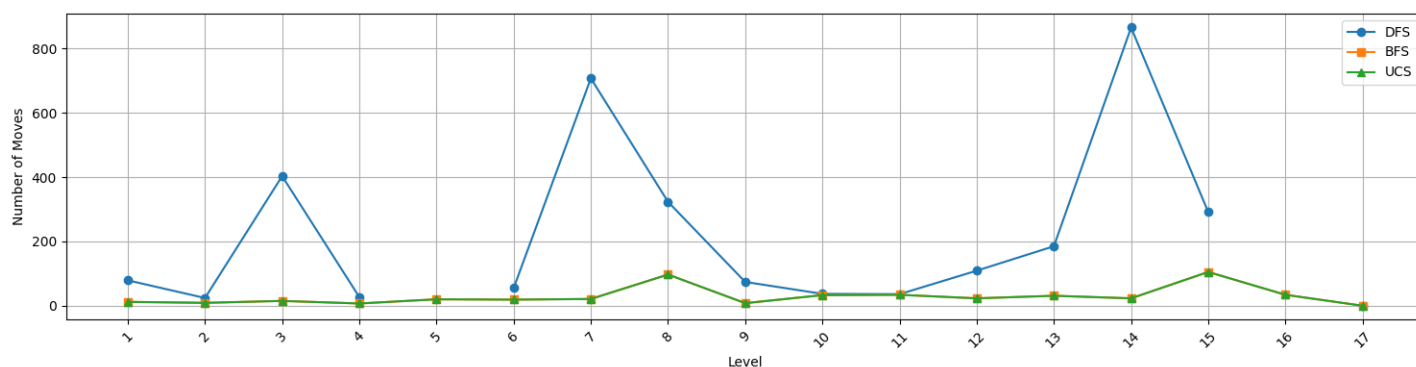


Hình 1: Comparison of Algorithm Performance on Easy Levels (Running Time less than 1s)

Trong những level khó hơn, UCS tỏ ra hiệu quả hơn hẳn 2 thuật toán còn lại. Ở level 5, UCS giải quyết trong vòng 56s trong khi con số này của BFS là 212s và DFS thậm chí gây tràn bộ nhớ. DFS tiếp tục mắc kẹt ở level 16, UCS và BFS lần lượt hoàn thành trong 13s và 22s. Ở level 18 cả 3 thuật toán đều không thể giải quyết.

Bảng thống kê số bước di chuyển mỗi thuật toán tìm được			
Level	DFS	BFS	UCS
1	79	12	12
2	24	9	9
3	403	15	15
4	27	7	7
5	*	20	20
6	55	19	5
7	707	21	21
8	323	97	97
9	74	8	8
10	37	33	33
11	36	34	34
12	109	23	23
13	185	31	31
14	865	23	23
15	291	105	105
16	*	34	34
17	0	0	0
18	*	*	*

Note: “*” là các trường hợp chưa thể đo đạt do các vấn đề về tràn RAM hoặc mất quá lâu để ra kết quả. "0" là trường hợp level không có lời giải.



Ở Level 18, Cả 3 thuật toán đều không tìm ra lời giải (trong thời gian cho phép)

Problem 4. Nhận xét về các thuật toán và bản đồ

1. Về các thuật toán

- DFS: Kết quả trả về từ thuật toán này không tối ưu và thường rất phức tạp. Đường đi từ initial state đến goal state dài một cách không cần thiết (Đặc biệt ở level 3 khi mà DFS cho ra tận hơn 400 bước đi trong khi đường đi ngắn nhất là 15 bước). Xét đến thời gian chạy, DFS, ở một số level, chạy nhanh hơn 2 thuật toán còn lại (nhưng không đáng kể), tuy nhiên DFS có thể mắc kẹt vĩnh viễn trong một vòng lặp tại một nhánh khi mà lời giải nằm trong nhánh khác.
- BFS: Lời giải của BFS một khi đã tìm được thì sẽ là tối ưu. Tuy nhiên xét về mặt thời gian, do có độ phức tạp là $O(b^d)$ nên BFS thường sẽ mất nhiều thời gian hơn.
- UCS: Tìm được lời giải chấp nhận được, trong trường hợp này đều là lời giải tối ưu (Tuy nhiên nếu chúng ta thay đổi hàm cost thì kết quả có thể sẽ khác). Điểm mạnh của UCS còn nằm ở thời gian thực thi, đa số trường hợp đều vượt trội so với BFS, đặc biệt là những level phức tạp (Việc này có thể bị ảnh hưởng bởi cách ta cài đặt cấu trúc Priority Queue).

Thuật toán hiệu quả nhất theo em là UCS do sở hữu thời gian xử lý nhanh và kết quả tìm được rất tốt

2. Về các màn chơi đáng chú ý

- Level 5: Thoạt nhìn thì tưởng chừng đây là một level đơn giản, tuy nhiên do kích thước màn chơi quá rộng và trống trải, do đó số lượng legalActions tại mỗi state là quá nhiều. DFS xử lý đã bị mắc kẹt ở một vòng lặp vô tận trong một nhánh quá sâu và khiến bộ nhớ bị tràn. Trong khi đó BFS và UCS chỉ cần mở đến tầng thứ 20 là đã tìm được lời giải tối ưu.
- Level 17: Ở màn chơi này, không có cách nào để hoàn thành mục tiêu. Cả 3 thuật toán đều dừng lại sau khoảng hơn 20s.
- Level 18: Đây có lẽ là level khó nhất, cấu trúc địa hình rất phức tạp và cả 3 thuật toán đều không thể tìm ra đáp án (trong một khoảng thời gian chấp nhận được).