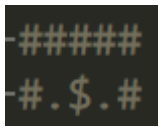
Theory of Computer Games (Fall 2018)

Homework #1

資工所碩二 劉又萱 R06922041

- Implementation
  - How to compile and run
    - 編譯:我提供了一個 Makefile，可以透過 make 指令來編譯，並生成 r06922041 的可執行檔。
    - 執行:./r06922041 < ../testdata/XXX.in
  - What algorithm and heuristic you implement
    - **不重複性:**利用 unorder map，將每個走過的盤面編碼成唯一的識別碼
    - **剪枝:**因為實際上倉庫番實在是太容易某個箱子被卡住(deadlock)，然後我們還繼續往下測試，直到其他箱子都推到目標，我們才會發現這裡是死路。這樣實在是太浪費時間與空間了，因此找到好的剪枝方法是很重要的。如此一來可以先判定沒有 deadlock，再放入序列裡面等待下次 Pop 出來。
      - Simple deadlocks:
        - 利用 goal 拉箱子到各個地點，紀錄每個目標點能夠停留箱子的位置集合。
        - 初步判斷是否有箱子再沒有任何 goal 到的了的地方，有就是 deadlock
        - 看是否有一個 goal 上的合法區域沒有任何箱子，沒有箱子就是 deadlock
      - Freeze deadlocks:
        1. 有時候有箱子推到被卡死的位置，永遠都無法再被推
        2. 利用遞迴方式判斷箱子垂直跟水平是否被卡死
        3. 如果這些被卡死的箱子有任何一個還沒推到 goal，就是 deadlock
      - Corner deadlocks: (Freeze deadlocks 包含此)
        1. 判斷是否箱子的相鄰兩邊是牆壁，如果是就是 deadlock
      - ㄇ deadlock:
        1. 如果有像是這種箱子被包圍的情況，而且旁邊這兩個空位沒有 goal，就是 deadlock

2.  四種旋轉方式

- 2*2 deadlock: (Freeze deadlocks 包含此)

1. 
2. 如果兩個箱子相鄰，而且又遇到牆壁相鄰，或是交叉的話都算 deadlock

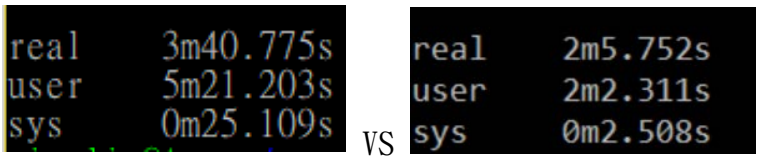
◆ **實際測試:**

- BFS(Breath-first Search): 採廣度優先，而且確保一定可以得到最佳解，但是因為作業有限制記憶體使用量，所以如果單純使用 BFS，則會超過 4G 使用量。
- DFS(Depth-first Search):採深度優先，但是很容易會陷入很深的死結節點(deadlock state)，而且時間通常很久，small.in 第八個以後都會跑好幾分鐘。
- DFID:由於一開始決定的 cut off depth 是 heuristic，如果沒選好，可能就會重新跑一次 traverse tree，這樣反而會浪費時間。像是我一開始想說設定深度 100，但是遇到最終盤面其實是第 101 層的是後就反而很浪費時間。(雖然老師說過，當廣度越廣的時候，其實多花的成本只有 7%，但是對於這次的側資而言，經過測試，我覺得不太適合)
- With heuristic
  - 成本 = g + h(Heuristic function)。g 表示已經用掉的成本，也就是走到這個狀態所需的步數;h 採用 Manhattan 來求得每個箱子到最近目標的距離和+玩家距離最近箱子的 Manhattan 距離
  - A*:逐漸加深深度優先搜尋+最佳優先搜尋。相較上面測試過的方法是比較快的。但是有時候走到越深，廣度過於廣，找答案要找很久，像是 large.in 要 3 分鐘，large2.要 5 分半。因此我後來改用下面的方法。
  - **雙向 A*:(正向用 A*，反向用 BFS，開 thread)**
    - 正向:與 A*相同，會一邊找，一邊確認是否反向已經遇到該狀態，如果遇到就算是找到路徑(雖然不能保證是最佳解，但是速度快很多)
    - 反向:我會先把所有箱子擺到 goal 的位置，並把人放到棋盤上，每一個方向可以選擇拉與不拉兩種狀況往下延伸

- Experiment

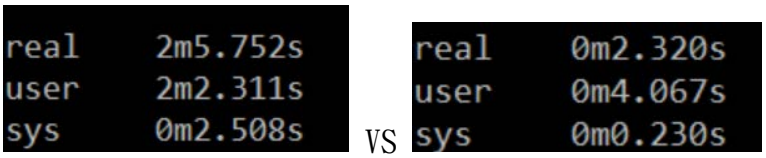
	DFS	DFID	BFS	A*	雙向 A*
Small	3m3.65s	2m13s	0m9.89s	0m0.565s	0m0.165s
Large	8m8.44s	4m35s	3m40s	2m3.752s	0m2.32s
Large2	12m32.56s	13m29.065s	8m2.0s	5m24.857s	1m54.139s

  - DFS（光是 large2.in 跑 10 分鐘都跑不完）
    - 因為畢竟不是每種 deadlock 我都有定義，像是 Closed diagonal deadlocks、Corral deadlocks、Deadlocks due to frozen boxes 這三種因為如果要定義的話會花更多成本，我就沒有偵測。那由於不是每種 deadlock 都有被我偵測出來，所以如果節點其實已經是上述某種 deadlock，程式還繼續 explore 它，那就會徒勞無功，跑太久。
  - BFS VS 單向 A*剪枝(with large.in)



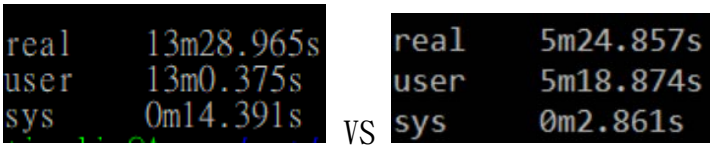
A*透過 heuristic+g 來拿節點運算，讓較有可能的節點先探索，所以也會快很多。

  - 單向 A*剪枝 VS 雙向 A*剪枝(with large.in)



因為有時候順向有時候會繞路，如果透過平行的雙向運算，那就能夠更快找到解答，因為兩邊同時搜尋，一定至少減少一半的時間。

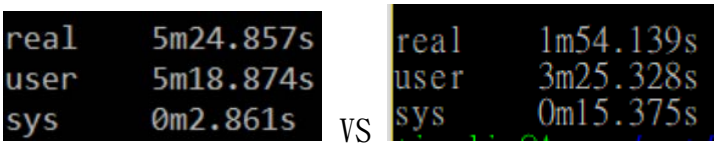
  - DFID VS 單向 A*（with large2.in）



層數是設定 100 每次+20

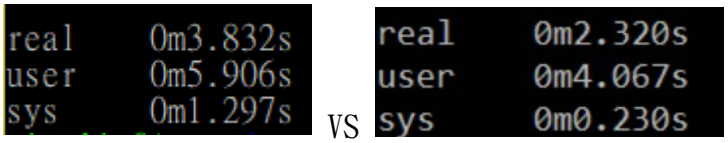
因為設定層數也是關鍵的一部份，好的層數限制以及好的每次增加次數，才能讓程式更快，但是我測試後這些側資用了 DFID 並沒有比較好。因為 e 不夠大，只有 4，所以逐漸加深演算法並沒有太大的幫助。

  - 單向 A*剪枝 VS 雙向 A*剪枝(with large2.in)



因為有時候順向有時候會繞路，如果透過平行的雙向運算，那就能夠更快找到解答，因為兩邊同時搜尋，一定至少減少一半的時間。

- 雙向 A*不減枝 VS 雙向 A*剪枝(with large.in)



剪枝真的很重要，幫我省下許多白計算的時間。

- 雙向的效果:
  - 開 thread 後，可看出反向找到的序列其實大於最後找到的序列的一半，成效很好。不過先搜到的結果不一定是最佳解

- 最好的結果:
  - Small.in 0.165s

```
tinaliu@Acer:/mnt/d/TINA/sokoban/source$ time ./r06922041 <../small.in
5
urrdl
10
rddlddruuu
45
rddddluruulllldllurrrrurdddlurulllulldrrrrurdd
48
rrdrruldlulllldllurrrrrrdrrullllrrrruulldurrddll
61
llllulldrrllllldd1luurrrrrurrdllllulddurrrrrrrurrdlllllllluld
52
rdddddllurdruuuulldrdrddluuuluurdrddluruldddduuullu
62
rrddrululldrluurrdrddlulluurrurddullddrruruldddrudrrullluurd
25
drdlrurululdululdddurrurd
107
ddrrruullrruulldurrddddlllluluurdlddrrrruulldldruurruulldldrddludlurruuurrddddllu
urlddrruuudlldlldrruuulldrr
184
uulldllurrlldd1luurrdrdddlludrruuurururdddldlrurrdlluruulldllurllldddrddrruulurur
rurdddldlruruullllllddrddrruulrdrrurrdlllruruullldd1ulurrrurddullllldddrddrrurr
rruldlllluulurrrurdddrdll

real    0m0.165s
user    0m0.219s
sys     0m0.063s
```

- Large.in 2.32s

```
r06922041@linux10 [~/ComputerGame/hw1_public/r06922041]  time ./r06922041 < ../testdata/large.in
16
ddrdrrulrulld1lu
188
drruurrlldd1luurrddrddlludrruuulullddrruuuuldrddd1luururddrrulrdrrulld1lulldddrddrruuddlluuruuluurddd
urrdldlruulldrulllldddrddrruuddlluurlluurrdrulluurddllddrddrruu
48
rurluluurdldrurdrrulld1luurdldrddluruurrrddd1lru
99
luururrdrdrddllurulullldldrudrrddlurulrdrruluululldrlldddrrurlddruruudd1lurdlllurulurddrdrrulld1uu
45
rruuruulddduuuldldrurrddlulld1ddrrrudllulluuur
34
rurrddddldruuuullrdrdrddlld1lurlu
32
lduuldddrurrurdldldrluluurulrrddd
31
ddrrrdrlldd1ruluuldldruuluurdurd
51
ddd1rululld1ddrruudrrulrrrdlulld1lurruuldrddld1ddruuur
78
ruuluurdurrdlulldddrddrrrruuudlllululdrdrrrruuldrddd1lllluurrrdrdllruuuuulldd1ur

real    0m2.320s
user    0m4.067s
sys     0m0.230s
```

```
r06922041@linux10 [~/ComputerGame/hw1_public/r06922041] ../sokoban/verifier -i .
./testdata/large.in -o large.out
Stage #1: Accepted: 16
Stage #2: Accepted: 188
Stage #3: Accepted: 48
Stage #4: Accepted: 97
Stage #5: Accepted: 45
Stage #6: Accepted: 34
Stage #7: Accepted: 32
Stage #8: Accepted: 33
Stage #9: Accepted: 49
Stage #10: Accepted: 76
```

- Large2.in 1m 54s

- Discussion
  - The complexity of a Sokoban puzzle.
    - PSPACE-complete.
    - State complexity:（m 是盤面的長度，n 是盤面的寬度）
      - 粗估為 $\frac{mn}{8} * 5^{mn}$ ，以 7*7 的棋盤為例，約10^{35}
        - 5^{mn}:先不考慮 player 的位置的話，有五種可能，分別是#$*.-，所以每個位置都有五種方法。
        - $\frac{mn}{8}$:因為盤面具有對稱性，所以除以八
      - 如果詳細來說，是$\frac{mn}{8} \sum_{a=1}^{\frac{mn}{2}} C_{2a}^{mn} \frac{2a!}{a!a!} * 3^{mn-2a}$，以 7*7 的棋盤為例，約$10^{34}$
        - a 是$的個數，a 也是’.’的個數，所有先擺完這兩個的話，共有$\sum_{a=1}^{\frac{mn}{2}} C_{2a}^{mn} \frac{2a!}{a!a!}$
        - 3^{mn-2a}這個部分是五種減去$.，的所有排列
        - $\frac{mn}{8}$:因為盤面具有對稱性，所以除以八。但其實前面這

五種放的地方已經不能擺，所以其實要扣除

- Game Tree size: 給定一個盤面後，求所有合理的盤面數，a 假設給定的箱子數量，b 為給定的牆壁
  - $C_a^{mn-b} * (mn - a - b)$，因為從全部的位置(mn-b)裡選 a 個地方把箱子，而最後 player 有$(mn - a - b)$位置可以擺

- The complexity of each algorithm.
  - 定義符號:
    - 節點分支度 b:所有狀態節點的節點平均或最大分支度。由於我有確認不重複，因此 b 為不走到相同盤面的數目。
    - 邊分支度 e:
      - 由某狀態節點所衍生出可能重複的新狀態節點，其個數為邊分支度，可容許不完全相異的子節點
      - 對於此遊戲，因為每次有上下左右四種方向可選，故 e 為 4
    - 目標狀態的深度 d:起始狀態節點到目標狀態節點的最短距離
  - BFS(Breath-first Search)
    - 時間複雜度$O(b^{d-1} * 4)$
      - =>但因為我有 close list，所以 e 可以被 d 取代，為 $O(b^{d-1} * b) = O(b^d)$
    - 空間複雜度$O(b^d)$
  - DFS(Depth-first Search)
    - 時間複雜度$O(4^D)$（D 是因為可能不是最佳解）
    - 空間複雜度$O(D)$
  - DFID
    - 時間複雜度$O(4^d)$
    - 空間複雜度$O(d)$
  - A*
    - 時間複雜度:最糟跟 DFS 一樣$O(4^d)$
    - 空間複雜度:最糟跟 BFS 一樣$O(b^d)$
  - 雙向 A*
    - 時間複雜度$O(b^{\lceil d/2 \rceil})$（因有close list）
    - 空間複雜度$O(b^{\lceil d/2 \rceil})$（因有close list）

- Reference
  - Deadlock introduction:
    - http://sokobano.de/wiki/index.php?title=Deadlocks
  - Deadlock algorithm:
    - http://sokobano.de/wiki/index.php?title=How_to_detect_dea

dlocks

- 遊戲複雜度部分與 R06922019 徐誌鴻,R06922025 林家緯,R06922034 王皓正，共同討論的結果