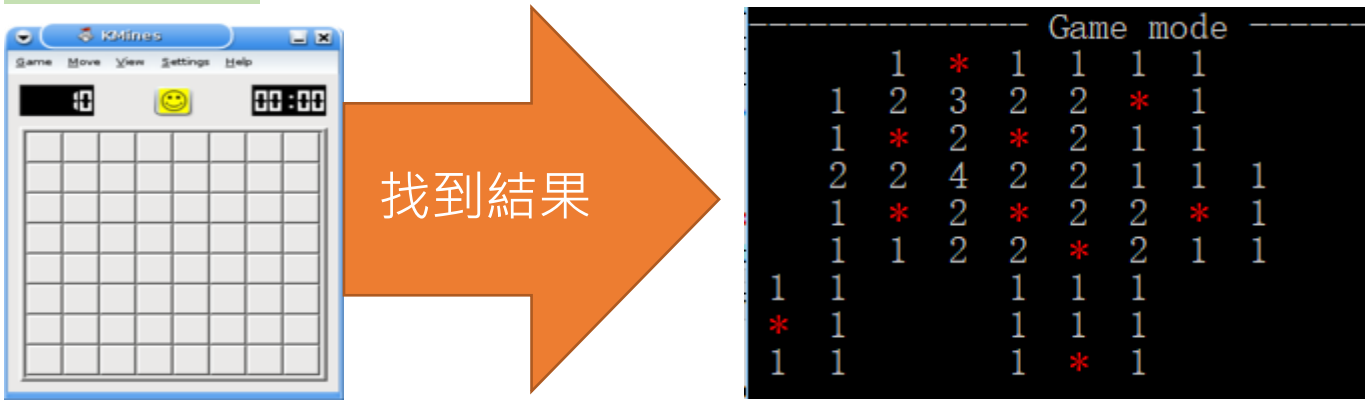
人工智慧概論

0613413 蔡怡君

- 實驗目的：踩地雷，Minesweeper，生成一個 MAP 並使用 Logic 去找到結果，例如：



- 實驗方法：(The Rule of Resolution)

- 使用的概念：使用 **Propositional Logic**，類似下圖這樣：

P	Q	$\neg P$	$P \wedge Q$	$P \vee Q$
false	*false*	*true*	*false*	*false*
false	*true*	*true*	*false*	*true*
true	*false*	*false*	*false*	*true*
true	*true*	*false*	*true*	*true*

如何應用到地雷上面呢？請看右邊的圖：m=未填值，n=應該要填的 mine 數量。

想法：假設一個 hint 周圍有 4 個地雷，有 8 個 neighbor，比如說已經有三個已經標記（2 個地雷跟 1 個 safe），這時 n =2 m=5，安全的格子最多是 3 個就是 m-n，所以說 m-n+1=4 個裡面至少有一個是地雷去生成 Positive literals，而 n+1 個=3 個至少有一個是 safe 所以可以去生成 Negative literals。

1. Case 1 (m == n)：Insert m 個 single-literal postive，ex.看左上角的 hint=1 時，CNF 為 +A。
2. Case 2 (n == 0)：地雷都已經被給值了，所以剩下的都是-A、-B 等等，在右圖的例子無法找到。

3. Case 3 (m > n > 0)：提供 Combination of Positive、Negative。ex. A 下面的 hint = 2 時，假設 Case 1 將 A 填值為 true 了，剩下 1 個 mine，unmarked = 2，所以這時 CNF 會有+C(2,2)與-C(2,2)。

以此類推推出**公式**：

- Each hint provides the following information: There are n mines in a list of m unmarked cells.
- (n == m): Insert the m single-literal positive clauses to the KB, one for each unmarked cell.
- (n == 0): Insert the m single-literal negative clauses to the KB, one for each unmarked cell.
- (m>n>0): General cases (need to generate CNF clauses and add them to the KB):
  C(m, m-n+1) clauses, each having m-n+1 positive literals 如果
  C(m, n+1) clauses, each having n+1 negative literals.
  For example, for m=5 and n=2, let the cells be x1, x2, …, x5:
  There are C(5,4) all-positive-literal clauses: 至少有一個是地雷
  (x1 ∨ x2 ∨ x3 ∨ x4), (x1 ∨ x2 ∨ x3 ∨ x5), …, (x2 ∨ x3 ∨ x4 ∨ x5)
  There are C(5,3) all-negative-literal clauses: 任選三個裡面至少有一個是safe 針對1 hint需要加到KB的clause
  (¬x1 ∨ ¬x2 ∨ ¬x3), (¬x1 ∨ ¬x2 ∨ ¬x4), (¬x1 ∨ ¬x2 ∨ ¬x5), …, (¬x3 ∨ ¬x4 ∨ ¬x5)

Control mode：生成地圖 提供一開始的 Safe Cell，數量為地圖 round(sqrt(R*C))，ex. 9*9 地圖提供 9 個 safe cell。

KB0 包含每一個 cell 對應的 clause，KB 則是需要判斷的 clause。

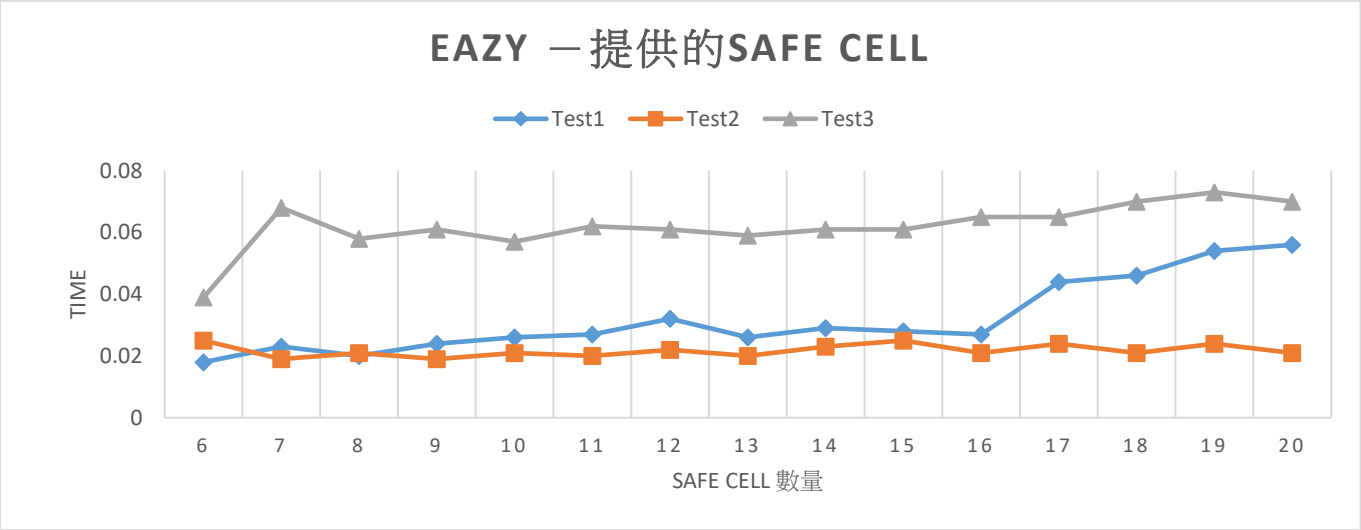
Game mode：使用 Logic clause 去得到結果。

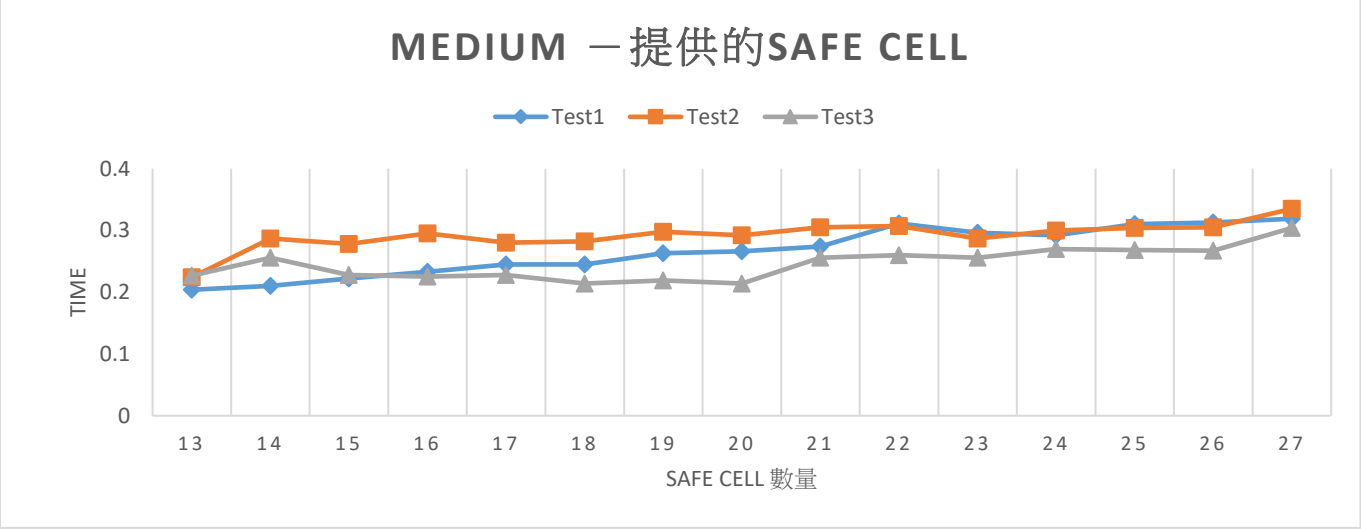
While(還沒達到 Game Termination){
  if(KB 裡頭有 single-lateral clause)：
    看 clause 是-還是+：-的話 mark safe，+的話 mark 地雷。
    將此 clause 移至 KB0
    一對多 Matching - 使用這個判斷完的 Cell 將原 KB 裡的 clause(含有此 Cell 判斷)去刪減：
      刪減完的句子，要先去判斷有沒有 same in KB or KB0、或是 entail。(重要)
    if 判斷完的 Cell is Safe：
      使用公式去生成 CNF。
  Otherwise：
    多對多 Matching - 使用 KB 裡頭長度<=2 的 clauses
    只有 one pair of complementary literals 可以去做 resolution 生成 CNF。例如：– x2 v x3 與 x4 v x2 生成 x3 v x4
      生成的句子要去檢查有沒有 duplication、Subsumption (只保留較 Strict clause)
      在 KB or KB0 裡頭 c 或是 entail。
    如果連續多對多 Matching 大於 10 次，而且沒有生出 single-literal，那就代表 Stuck →Break
}

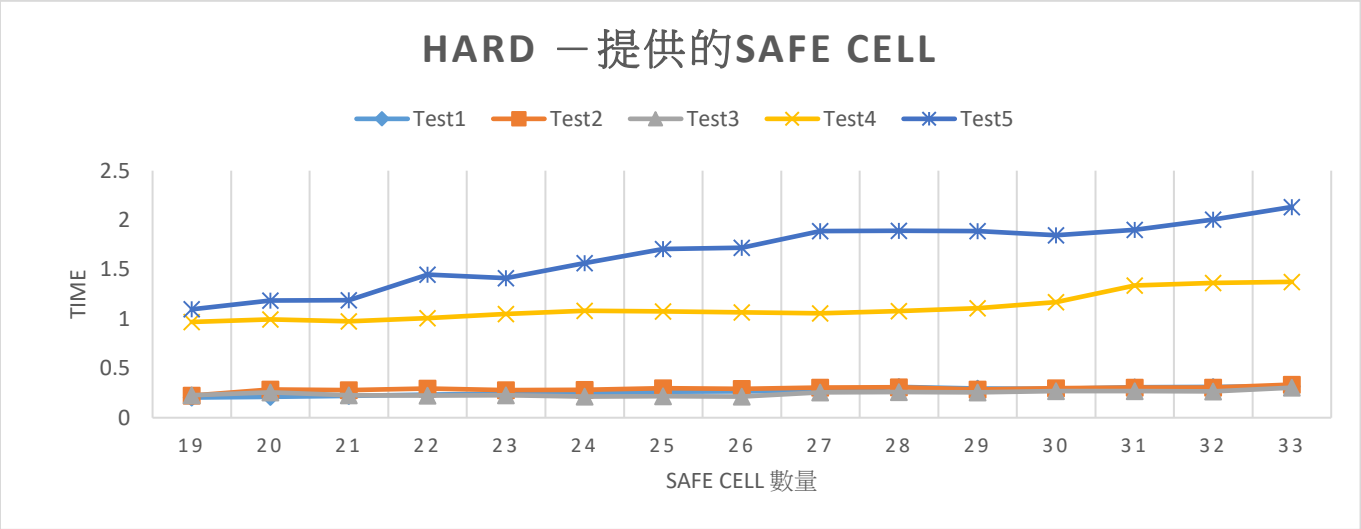
Notice：Insert 進去之前都要檢查：（以下呈現為程式結果）

-------- case1 KB = now ---	-------- case2 KB entail now --	-------- case3 Now entail KB -
KB:-(4,5) -(5,5) -(5,7)	KB:-(3,1)	KB:-(3,2) -(3,3) -(4,2) -(5,2)
now-(4,5) -(5,5) -(5,7)	now-(3,1) -(4,0) -(5,2)	now-(3,2) -(4,2) -(5,2)

- 結果觀察：Time 對於 Safe Cell 的數量改變：(討論在後面)







正確度分析、完整度(Completeness): (是否 stuck？)

以下表格為一次程式跑 15 次總共跑 75 次，而這 15 次其中包含又有 safe cell 的改變，Test 資料為時間分析的資料繼續使用，可以看到在 Eazy 跟 Medium 裡頭幾乎都是百分之百的正確，但並不代表不會面對到 Stuck 的狀態，在解釋完正確度分析後會談論到此。

	9*9			
	Times	nodes	Total	判斷出的點
Test1	15	81	1215	1215
Test2	15	81	1215	1215
Test3	15	81	1215	1215
Test4	15	81	1215	1215
Test5	15	81	1215	1215
total	75		6075	6075
				1

	16*16			
	times	nodes	Total	判斷出的點
Test1	15	256	3840	3840
Test2	15	256	3840	3840
Test3	15	256	3840	3840
Test4	15	256	3840	3840
Test5	15	256	3840	3840
total	75		19200	19200
				1

	16*30			
	times	nodes	total	判斷出的點
Test1	15	480	7200	7156
Test2	15	480	7200	7060
Test3	15	480	7200	7140
Test4	15	480	7200	5696
Test5	15	480	7200	7200
total	75		36000	34252
				0.951444

圖四.9*9 也會遇到 stuck
(在其他次測試中發現)

- 結果分析：

就**時間對於 Safe Cell 數量**的分析去看，一開始還沒有進行分析前，我以為提供更多的 Safe Cell 應該會使得時間跑得更快，但是事實證明，**提供更多的 Safe Cell 會讓時間更慢**因為曲線是向上的，只要有足夠的 Safe Cell 去保證說第一開始不會走到地雷或是足以展開，就可以得到解。我也有**嘗試將 9*9 的 safe cell 調整至 2、3**(原為 9，實驗最低 6)，而這邊**取決於機率會不會取點取到取到快速展開**，例如 hint = 0，如果都取到有 hint 值例如 2、3，這邊會很容易遇到 stuck！所以 Safe Cell 還是要取適當的數量讓 Time 去 optimize，**實驗的結果為取比 Round(sqrt(R*C))較**

小的數一點的數都可以更優化。

就**正確度分析**來說，Easy、Medium 在實驗的 75 次過程中都是不會遇到 stuck 的，但其實是**事實上是機率極低可以看圖四**，而在實驗中 Hard 則是十次裡頭只有一兩次可以完整解出，雖然正確率高，但完整度比較低，這應都是取決於一開始給得 Safe Cell，**如果一開始給的 Safe Cell 很密集於某一區，這樣更容易遇到 Stuck 的狀況**，而 Safe Cell 越分散應越不容易得到 Stuck，又或是地雷分布密集。

- Discussion：

Question 1： How to use first-order logic here ?

Answer1：可以用以下的 Logic ：

Hint (P(y),n) 表示在點 y 的 8 個 direction 有 n 個 Mine。

M(P(y)) 表示在點 y 是否有 Mine。

Neighbor(y) 點 y 的鄰居。

∃y M(P(Neighbor(y)) ⇔ Hint(P(y), 1) 如果點 P(y) Hint =1 代表存在 1 個鄰居是 mine。

∀y ~M(P(Neighbor(y)) ⇔ Hint(P(y)), 0) 如果點 P(y) Hint =0 代表所有鄰居都不是 Mine。

使用 FOL 時，可以省去非常多 Propositional logic 的變數記憶體空間，同時也可以使得最後的結果較為簡潔，不用窮舉！

Question 2： Discuss whether forward chaining or backward chaining applicable to this problem ?

Answer 2：我認為在這裡使用 Forward chaining，應該會比 backward 更為適合因為地雷問題，因為在地雷問題中，最一開始展開時除了我們已知的 Safe Cell List 以外不會擁有太多其餘的資訊，在這裡好像沒有辦法從 Goal 去出發，假如一開始是 Hint = 2 出發，去檢視它的 horn clause，因為沒有其他的資訊，反而使用 FC 比較合理，而使用 BC 回推的話會較沒有幫助，而展開到一定的數量時再去使用 BC 會比較合理，也會花費比 FC 更少的時間，因為 FC 會比較偏向亂槍打鳥。

Question 3：Propose some ideas about how to improve the success rate of "guessing" when you want to proceed from a "stuck" game：

Answer 3：猜測根據機率 - 當遇到 stuck 的時候，這邊可以使用剩下有關這幾個 Point 的資訊去猜測，例如剩下的有 A、B、C，分別去看這三個影響到的 clause 數量，去決定它的機率，例如：

假設這張圖只剩下 2 顆地雷要放，而 2 下方的 3 右邊、右下都有地雷了，這時候去判斷說 1=mine 時 2 就會=safe，而 4、5、6 都有可能會是 mine 同時 3=safe，而如果當 2=mine 時，1、4、5、6=safe 同時 3=mine，這時候可以去算機率 1 是地雷是 3/4，而 2 是 1/4，所以去猜測 1 為地雷。

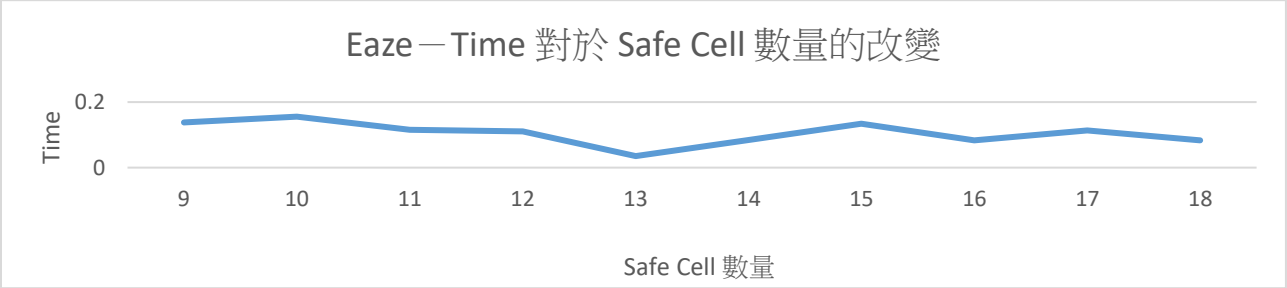
Question 4：Discuss ideas of modifying the method in Assignment#2 to solve the current problem.

Answer 4：如果要將這次的作業套用 Assignment2 的話，應該要先展開一定的地圖，在讓 CSP 去執行，因為 Assignment 2 我們是擺好數字，然後去猜測是否為地雷，所以可以是 complete 的，而如果今天要應用在這次的遊戲上，應該在一開始使用 Logic 先去探索，然後探索到一定的程度的時候，在去使用 CSP 去給值，或是遇到 Stuck 的時候，這時候沒有辦法在使用 Logic，所以我們再去使用 CSP 猜也可以，因為其實 Logic 跑的速度會比 CSP 還要快，但老師上課有說這個問題更適合 CSP，因為應該是可以去找到結果的。

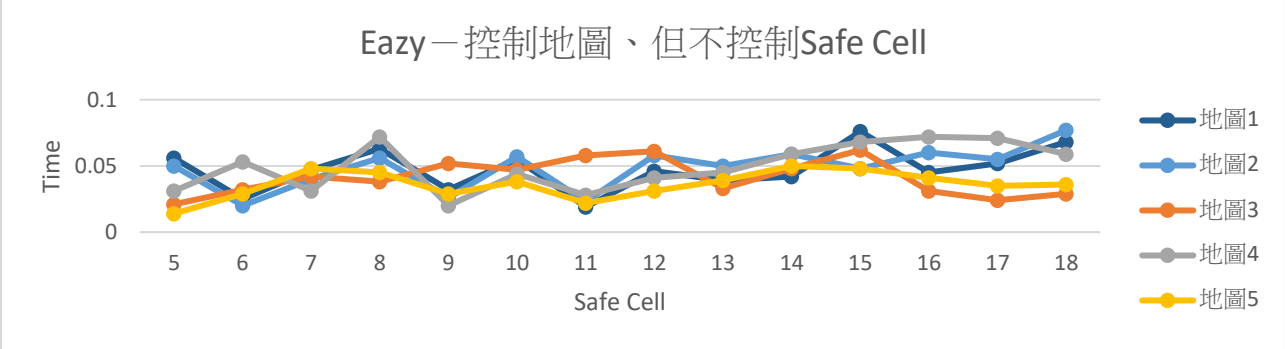
實驗中的遇到的問題：

1. 在做 Safe Cell 數量的時候，一開始實驗忘記地圖的變因要固定，所以不小心做出結果發現，沒有顯著的改變，後來發現原因是因為每次實驗地圖都會變，所以才會導致如此結果，後來固定好地圖的變因之後，因為原先設定的 Safe Cell 是每次都去取，所以 Safe Cell = 5 並不會等於 Safe Cell = 4 再去取一顆，所以這裡的變因又會導致實驗的誤差太大，最終控制地圖變因、Safe Cell 變因最後得到結果。過程失敗的圖：

   Test 失敗第一次：(地圖會變、Safe Cell 會變) 無顯著的變化，實驗失敗。

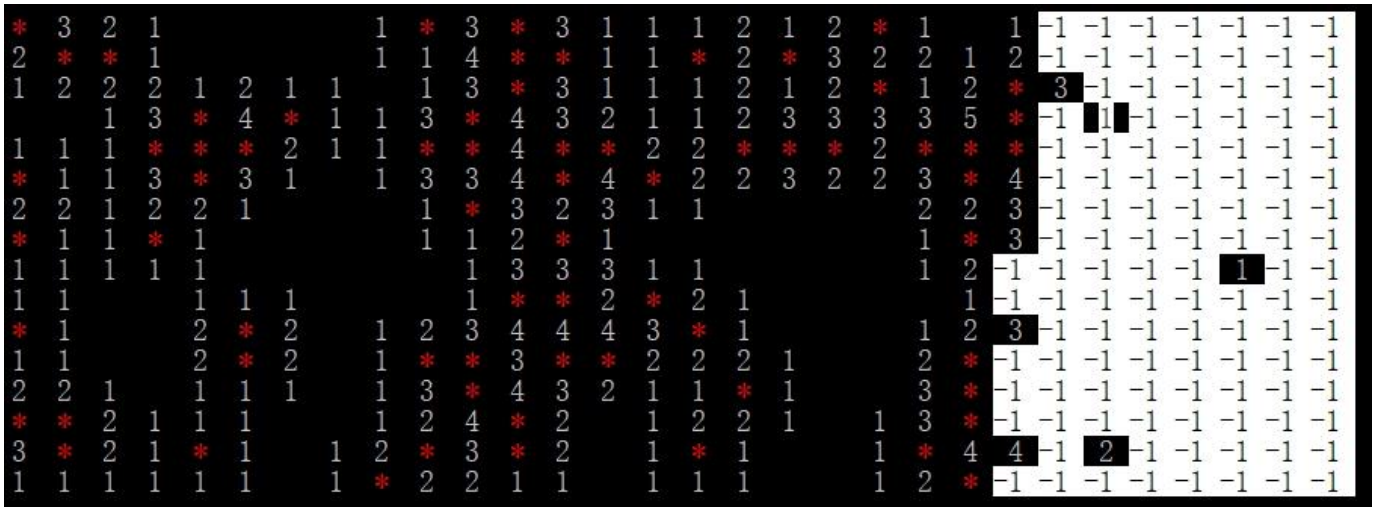


   Test 失敗第二次：(地圖不變、Safe Cell 會變) 經由圖，無法看出明顯的變化，實驗失敗。



2. Stuck 的解決方法，在第四頁的圖四中，這邊的 Stuck 較容易解決，只要透過判斷是否 mine 都已經被給值了，那麼這邊只要去偵查-1 的八個 direction，去給值就可以達到，而我們常在

Hard 中遇到的 Stuck 會比這個更困難，這裡是因為 Safe Cell 給的值太過於密集於一區，而導致此情況，例如：



在這方面的解決，我目前覺得只有兩種方式，就是上面 Discussion 3 提及去猜測，或是使用 CSP 去猜測，但是在這方面我有看到網路上有些論文說 minesweeper 是 dead-end-tree，因為在這種玩法下，必須要去猜測而非會有準確的答案(像是 Assignment#2)。

Future investigation：

原本還想探討控制**地雷數目=round(sqrt(R*C))地雷數的增加會導致 stuck 的情況發生更為頻繁嗎？**我認為答案應該是 Yes，但是因為寫的頁數不夠了，所以這邊放在 Future investigation 去探討。

Reference：

Stuck Game：
https://puzzling.stackexchange.com/questions/364/how-do-i-approach-a-stuck-game-of-minesweeper

程式碼(C++) 使用 Dev C++

```
1. #include<iostream>
2. #include<string.h>
3. #include<stdio.h>
4. #include<stdlib.h>
5. #include<time.h>
6. #include<math.h>
7. #include<iomanip>
8. #include<vector>
9. #include <windows.h>
10.
11. using namespace std;
12.
13. /*
14. author : 蔡怡君 0613413
15. content : Minesweeper solution
16. using propositional logic
17. */
18.
19. // mine Map Small / Medium / Big
20. int MAP[16][30]={0}, R, C, num_mines ;
21. int GameMAP[16][30];
22.
23. struct point
24. {
25. int x,y;
26. int hint;
27. bool mine;
28. }dir[8];
29.
30. vector<point>hint; // 裏頭有炸彈的位置
31. //vector<point>safe;
32.
33. struct cell
34. {
35. int x,y;
36. int hint;
37. int sign; // 看是-A 還是 A
38. bool mine;
39. };
40.
41. bool operator == (const cell &p1,const cell &p2)
42. {
```

```
43. if(p1.x == p2.x && p1.y == p2.y)
44. return true;
45. else
46. return false;
47. }
48.
49. class clause
50. {
51. public:
52. vector<cell>element;
53. int getn();
54. clause operator+(const clause&);
55. bool operator==(const clause&);
56. bool entail(const clause&);
57. int cpm(const clause&);
58. void print();
59. };
60.
61. int clause::getn()
62. {
63. return element.size();
64. }
65.
66. bool clause::operator==(const clause &B)
67. {
68. if(element.size() != B.element.size())return false;
69. int index = 0,i;
70. bool flag = false;
71. while( index < element.size() ){
72. for(i = 0 ; i < B.element.size() ; i ++){
73. if(element[index].x == B.element[i].x && element[index].y ==
  B.element[i].y)
74. if(element[index].sign == B.element[i].sign)
75. break;
76. }
77. if(i == B.element.size()) // 代表跑完了都還沒找到
78. return false;
79. index ++;
80. }
81. return true;
82. /*不檢查符號是否相符 因為外面抵銷也有用到這個
83. if(element[index].sign == B.element[i].sign)
84. */
85. }
86.
```

```
87. clause clause::operator+(const clause &B)
88. {
89. clause tmp;
90. // 把 this 的cell 都給 tmp
91. int j,fi,fj;;
92. bool flag;
93. for(int i = 0 ; i < (*this).getn() ; i++){
94. flag = false;
95. for(j = 0 ; j < B.element.size() ; j ++){
96. if( (*this).element[i] == B.element[j] )
97. if( (*this).element[i].sign == -B.element[j].sign ){
98. fi = i; fj = j;
99. flag = true;
100.break;
101.}
102.}
103.if(flag)
104.break;
105.}
106.
107.for(int i = 0 ; i < (*this).getn(); i ++){
108.if(i == fi) continue;
109.tmp.element.push_back( (*this).element[i] );
110.}
111.
112.for(int i = 0; i < B.element.size(); i++){
113.if( i == fj) continue;
114.tmp.element.push_back(B.element[i]);
115.}
116.
117.// 如果句子產生 +A,+A - >> 刪除其中一個
118.if(tmp.getn() == 2 && tmp.element[0] == tmp.element[1])
119.tmp.element.erase(tmp.element.begin()+1);
120.
121.return tmp;
122.}
123.
124.// 查看 complementary 幾個句子
125.int clause::cpm(const clause &B)
126.{
127.int count = 0;
128.int index = 0,i;
129.while( index < element.size() ){
130.for(i = 0 ; i < B.element.size() ; i ++){
```

```
131.if(element[index].x == B.element[i].x && element[index].y ==
  B.element[i].y)
132.if(element[index].sign == -B.element[i].sign)
133.count++;
134.}
135.index ++;
136.}
137.return count;
138.}
139.
140.// 看 this 是否 entail B 比較嚴謹？
141.bool clause::entail(const clause &B)
142.{
143.if(element.size()==0) return false;
144.if(element.size() < B.element.size()){
145.int index = 0,i;
146.while( index < element.size() ){
147.for(i = 0 ; i < B.element.size() ; i ++){
148.if(element[index].x == B.element[i].x && element[index].y ==
  B.element[i].y)
149.if(element[index].sign == B.element[i].sign)
150.break;
151.}
152.if(i == B.element.size()) // 代表跑完了都還沒找到
153.return false;
154.index ++;
155.}
156.// 如果 this 本來長度就比較小 且 in B 裡頭都有找到的話 代表 this entail B
157.return true;
158.}
159.return false;
160.}
161.
162.void clause::print()
163.{
164.for(int i = 0 ; i < element.size(); i ++){
165.if(element[i].sign == -1)
166.cout<<"-";
167.else if(element[i].sign == 1)
168.cout<<"+";
169.cout<<"("<<element[i].x<<","<<element[i].y<<") ";
170.}
171.//cout<<endl;
172.}
173.
```

```
174.
175.vector<clause> KB;
176.vector<clause> KB0;
177.
178.void initial()
179.{
180.dir[0]={-1,-1};
181.dir[1]={-1,0};
182.dir[2]={-1,1};
183.dir[3]={0,-1};
184.dir[4]={0,1};
185.dir[5]={1,-1};
186.dir[6]={1,0};
187.dir[7]={1,1};
188.
189.// game
190.for(int i = 0 ; i < R ; i ++)
191.for(int j = 0 ; j < C ; j ++)
192.GameMAP[i][j] = -1;
193.KB.clear();
194.KB0.clear();
195.}
196.
197.bool in(vector<clause> K,clause c)
198.{
199.for(int i = 0 ; i < K.size() ; i ++){
200.if(K[i] == c)
201.return true;
202.}
203.return false;
204.}
205.
206.bool in(vector<clause> K,int index,clause c)
207.{
208.// 看它的前面有沒有相同的
209.for(int i = 0 ; i < index ; i ++){
210.if(K[i] == c)
211.return true;
212.}
213.return false;
214.}
215.
216.bool isVaild(int i,int j)
217.{
218.return ( (i >= 0 && i < R ) && (j >= 0 && j < C) );
```

```
219.}
220.
221.// ----------- control mode start ------------
222.// - create map
223.void mode(int mode)
224.{
225.int mine = 0;
226.// control
227.srand( time(NULL) );
228.if(mode == 1){
229.R = 9; C = 9;
230.num_mines = 10;
231.while( mine < num_mines){
232.int x = rand()%R;
233.int y = rand()%C;
234.if(MAP[x][y] == 0){
235.MAP[x][y] = -1; // mean mines
236.mine++;
237.point h = {x,y,MAP[x][y],true};
238.hint.push_back(h);
239.}
240.}
241.}
242.else if(mode == 2){
243.R = 16; C = 16;
244.num_mines = 25;
245.while( mine < num_mines){
246.int x = rand()%R;
247.int y = rand()%C;
248.if(MAP[x][y] == 0){
249.MAP[x][y] = -1; // mean mines
250.mine++;
251.point h = {x,y,MAP[x][y],true};
252.hint.push_back(h);
253.}
254.}
255.}
256.else{
257.R = 16; C =30;
258.num_mines = 99;
259.while( mine < num_mines){
260.int x = rand()%R;
261.int y = rand()%C;
262.if(MAP[x][y] == 0){
263.MAP[x][y] = -1; // mean mines
```

```
264.mine++;
265.point h = {x,y,MAP[x][y],true};
266.hint.push_back(h);
267.}
268.}
269.}
270.
271.// game
272.for(int i = 0 ; i < R ; i ++)
273.for(int j = 0 ; j < C ; j ++)
274.GameMAP[i][j] = -1;
275.}
276.
277.void fillin(vector<point> hhint)
278.{
279.// 去填 Hint 周圍的值
280.for(int i = 0 ; i < hhint.size() ; i ++){
281.// check hint 的八維
282.for(int j = 0 ; j < 8 ; j ++){
283.int px = hhint[i].x + dir[j].x;
284.int py = hhint[i].y + dir[j].y;
285.if(isVaild(px , py) && MAP[px][py] != -1){
286.MAP[px][py] += 1;
287.}
288.}
289.}
290.}
291.
292.//---- using for test
293.vector<clause>first;
294.void put_safe_cell(int safe)
295.{
296.// *** 去 input initial safe cells 可透過去變這裡去分析
297.int i = 0;
298.while(i < safe){
299.int x = rand()%R , y = rand()%C;
300.// 不是炸彈
301.if(MAP[x][y] != -1){
302.cell s ={x,y,MAP[x][y],-1,false};
303.clause tmp;
304.tmp.element.push_back(s);
305.if(!in(first,tmp)){
306.first.push_back(tmp);
307.//KB.push_back(tmp);
308.i++;
```

```
309.//cout<<"x:"<<x<<" y:"<<y<<endl;
310.}
311.}
312.}
313.
314.}
315.
316.void test_safe(int add)
317.{
318.int i = 0;
319.while( i < add){
320.int x = rand()%R , y = rand()%C;
321.// 不是炸彈
322.if(MAP[x][y] != -1){
323.cell s ={x,y,MAP[x][y],-1,false};
324.clause tmp;
325.tmp.element.push_back(s);
326.if(!in(first,tmp)){
327.first.push_back(tmp);
328.i++;
329.}
330.}
331.}
332.}
333.
334.// ----------- control mode end ------------
335.
336.// ----------- game mode start ------------
337.
338.bool check_dub_sub(clause now)
339.{
340.// 第一次判斷 for case 3
341.bool first = true;
342.for(int j = 0 ; j < KB.size() ; j++){
343.//case 1 檢查 KB 裡面會不會有 same 的？ same 就跳過
344.if(KB[j] == now){
345.return true;
346.}
347.//case 2 檢查 subsumption
348.if(KB[j].entail(now)){
349.return true;
350.}
351.//case 3 去看說 B 是否 entail this 如果是 True 原本的要刪除 新增這個進去
352.if(now.entail(KB[j])){
353.if(first){ //第 一次遇到 assign 直接取代原本的
```

```
354.KB[j] = now;
355.first = false;
356.}
357.else{
358.KB.erase(KB.begin()+j);
359.j--;
360.}
361.}
362.}
363.if(!first)
364.return true;
365.return false;
366.}
367.
368.// 印出所有的 KB0
369.void single_all_in_clause(vector<clause> A)
370.{
371.for(int i = 0 ; i < A.size() ; i ++){
372.if(A[i].getn() == 1)
373.cout<<A[i].element[0].sign<<"("<<A[i].element[0].x<<","<<A[i].el
   ement[0].y<<")";
374.}
375.cout<<endl;
376.}
377.
378.// 印出所有的 KB clause
379.void all_in_clause(vector<clause> A)
380.{
381.for(int i = 0 ; i < A.size() ; i ++){
382.for(int j = 0 ; j < A[i].getn(); j++)
383.cout<<A[i].element[j].sign<<"("<<A[i].element[j].x<<","<<A[i].el
   ement[j].y<<")";
384.cout<<endl;
385.}
386.}
387.
388.void pretty_print(int m, vector<cell> local, int combo, int
   sign)
389.{
390.clause now;
391.for (int i = 0; i < m; ++i) {
392.if ((combo >> i) & 1){
393.if(sign == 1) { local[i].sign = 1; } //cout<<"+";
394.else if(sign == -1) { local[i].sign = -1; } //cout<<"-";
395.// 不用檢查 KB0 因為 KB0 = true 的話早就被給值了
```

```
396.now.element.push_back(local[i]);
397.//cout<<"("<< local[i].x <<","<<local[i].y<<")"<< ' ';
398.}
399.if( i == m-1){
400.if(!check_dub_sub(now))
401.KB.push_back(now);
402.}
403.}
404.//cout << endl;
405.}
406.
407.void combination(int m, int n, vector<cell>local, int sign)
408.{
409.int combo = (1 << n) - 1; // k bit sets
410.while (combo < 1<<m) {
411.pretty_print(m,local,combo,sign);
412.
413.int x = combo & -combo;
414.int y = combo + x;
415.int z = (combo & ~y);
416.combo = z / x;
417.combo >>= 1;
418.combo |= y;
419.}
420.}
421.
422.int go_single=0,go_nonsingle=0;
423.void game_mode()
424.{
425.int total_mines = 0;
426.int stucktime = 0;
427.//num_mines
428.while(total_mines <= num_mines){
429.// if there's a single-lateral clause
430.bool single = false;
431.for(int i = 0 ; i < KB.size() ; i ++){
432.if(KB[i].getn() == 1){
433.single = true; go_single++;
434.clause current = KB[i];
435.int cx = current.element[0].x;
436.int cy = current.element[0].y;
437.if(current.element[0].sign == -1){
438.current.element[0].mine = false; // 沒有地雷
439.current.element[0].hint = MAP[cx][cy];
440.GameMAP[cx][cy] = MAP[cx][cy]; // 放 hint 值
```

```
441.}
442.else if (current.element[0].sign == 1){
443.current.element[0].mine = true; // 有地雷
444.current.element[0].hint = MAP[cx][cy];
445.GameMAP[cx][cy] = 666; //means 有地雷
446.total_mines++;
447.}
448.KB.erase(KB.begin()+i);
449.//i--;
450.KB0.push_back(current);
451.// 一對多 matching 新 clause 判斷完的 & 其他的 KB 句子 對消
452.for(int a = 0 ; a < KB.size(); a ++){
453.// 如果現在這個 current entail KB 裡的 或是 = 就刪除
454.if( current.entail(KB[a]) || current == KB[a] ){
455.// 刪除這個 KB[a]
456.KB.erase(KB.begin()+a);
457.a--;
458.continue;
459.}
460.for(int b = 0 ; b < KB[a].getn() ; b ++){
461.if(KB[a].element[b] == current.element[0] && KB[a].getn()!= 1)
462.// 抵銷
463.if(KB[a].element[b].sign == - current.element[0].sign){
464.KB[a].element.erase(KB[a].element.begin()+b);
465.// 去檢查新的句子有沒有在 KB0 有的話 刪除
466.if( in(KB0,KB[a]) ){
467.KB.erase(KB.begin()+a);
468.a--;
469.}
470.// 去檢查新的句子有沒有在 KB(index = a 之前)裡有重複的！(重要)
471.else if(in(KB,a,KB[a])){
472.KB.erase(KB.begin()+a);
473.a--;
474.}
475.break;
476.}
477.}
478.
479.}
480.// if the cell is safe
481.if(!current.element[0].mine){
482.// query game control
483.cell now = current.element[0];
484.vector<cell> todo;
```

```
485.int local_mine = now.hint , unmarked = 0;
486.// 跑鄰居 是否有炸彈 、 marked
487.for(int a = 0 ; a < 8 ; a ++){
488.int tmpx = now.x + dir[a].x ;
489.int tmpy = now.y + dir[a].y;
490.if(isVaild(tmpx, tmpy)){
491.if(GameMAP[tmpx][tmpy] == 666){ // means 有地雷
492.local_mine--;
493.}
494.if(GameMAP[tmpx][tmpy] == -1){ // unmarked
495.cell tmp = {tmpx,tmpy};
496.unmarked ++;
497.todo.push_back(tmp);
498.}
499.}
500.}
501.if(local_mine == 0 && unmarked == 0) continue;
502.if(local_mine == unmarked && unmarked !=0){ // n = m
503.//cout<<"positive:";
504.while(!todo.empty()){
505.clause positive;
506.cell po = todo.back();
507.todo.pop_back();
508.po.sign = 1;
509.positive.element.push_back(po);
510.if(!in(KB,positive) && !in(KB0,positive)){
511.//cout<<"O";
512.KB.push_back(positive);
513.}
514.//else cout<<"X";
515.//cout<<"+"<<"("<<po.x<<","<<po.y<<") ";
516.}
517.//cout<<endl;
518.}
519.if(local_mine == 0){ // n = 0
520.//cout<<"negative:"<<endl;
521.while(!todo.empty()){
522.clause negative;
523.cell ne = todo.back();
524.todo.pop_back();
525.ne.sign = -1;
526.negative.element.push_back(ne);
527.if(!in(KB,negative) && !in(KB0,negative)){
528.//cout<<"O";
529.KB.push_back(negative);
```

```
530.}
531.//else cout<<"X";
532.//cout<<"-"<<"("<<ne.x<<","<<ne.y<<") ";
533.}
534.//cout<<endl;
535.}
536.if(unmarked > local_mine && local_mine > 0){ // m > n > 0
537.combination(unmarked,unmarked-local_mine+1,todo,1);
538.combination(unmarked,local_mine+1,todo,-1);
539.//todo.clear();
540.}
541.}
542.break;
543.}
544.}
545.// global constraints
546.//if(go_single > R*C - round(sqrt(R*C))){
547.//combination();
548.//}
549.bool make_single = false;
550.if(!single && stucktime == 10)
551.break;
552.// 沒有 single-lateral clause
553.if(!single){
554.go_nonsingle ++;
555.int Before = KB.size();
556.// pairwise "matching" of all clause 多不多
557.if(KB.size() == 0) break;
558.for(int i = 0 ; i < KB.size()-1 ; i ++){
559.for(int j = i + 1 ; j < KB.size() ; j ++){
560.// cpm 看 complementary 句子有幾個
561.if( KB[i].cpm(KB[j]) == 1 && KB[i].getn() <= 2 && KB[j].getn()
   <= 2){
562.//cout<<"i:"<<i<<" j:"<<j<<" size:"<<KB.size()<<endl;
563.clause tmp = KB[i] + KB[j];
564.
565.if(tmp.element.size() == 1)
566.make_single = true;
567.
568.// no duplication & subsumption
569.if(tmp.element.size()!=0 && !check_dub_sub(tmp))
570.{
571.KB.push_back(tmp);
572.}
573.}
```

```
574.}
575.}
576.int After = KB.size();
577.if(Before == After && make_single == false)
578.stucktime ++;
579.//cout<<"--------------------Bye----------------------";
580.}
581.}
582.}
583.
584.
585.// ----------- game mode end ------------
586.void setColor(int color);
587.void print_map()
588.{
589.for(int i = 0 ; i < R ;i ++){
590.for(int j = 0 ; j < C ; j ++){
591.if(MAP[i][j] == -1){
592.setColor(12);
593.cout<<setw(2)<<"*"<<" ";
594.}
595.else if(MAP[i][j] != 0){
596.setColor(7); //預設
597.cout<<setw(2)<<MAP[i][j]<<" ";
598.}
599.else
600.cout<<" ";
601.}
602.cout<<endl;
603.}
604.}
605.
606.void print_GameMAP()
607.{
608.for(int i = 0 ; i < R ;i ++){
609.for(int j = 0 ; j < C ; j ++){
610.if(GameMAP[i][j] == 666){
611.setColor(12);
612.cout<<setw(2)<<"*"<<" ";
613.}
614.else if(GameMAP[i][j] == -1){
615.setColor(240);
616.cout<<GameMAP[i][j]<<" ";
617.setColor(7);
618.}
```

```
619.else if(GameMAP[i][j] != 0){
620.setColor(7);
621.cout<<setw(2)<<GameMAP[i][j]<<" ";
622.}
623.else
624.cout<<" ";
625.}
626.cout<<endl;
627.}
628.}
629.
630.
631.int main()
632.{
633.int level;
634.time_t start,end;
635.double t;
636.cout << "LeveL :1.Easy 2.Medium 3.Hard" << endl;
637.cout << "plz enter level:";
638.cin >> level;
639.
640.// control mode put value to 8 direcction
641.initial();
642.mode(level); // set mode
643.fillin(hint); // fill in the neibor of hint
644.
645.// 最一開始
646.put_safe_cell(round(sqrt(R*C))-4);
647.for(int a = 0; a < 15 ; a ++){
648.test_safe(1);
649.// 歸零
650.initial();
651.for(int j = 0 ; j < first.size() ; j++)
652.KB.push_back(first[j]);
653.//cout<<KB.size()<<endl;
654.// game mode
655.start = clock();
656.game_mode();
657.end = clock();
658.t = ((double)(end-start))/CLOCKS_PER_SEC;
659.printf("%f\t",t);
660.cout<<endl;
661.//printf("Time : %fs\n",t);
662.}
663.
```

```
664.cout<<"-------------- control mode ---------------\n";
665.print_map(); // print it out
666.cout<<endl;
667.cout<<"-------------- Game mode ---------------\n";
668.print_GameMAP();
669.cout<<endl;
670.setColor(242);
671.cout<<"single 判斷:"<<go_single<<" nonSingle 判
   斷:"<<go_nonsingle<<endl;
672.return 0;
673.}
674.
675.// 控制炸彈顏色
676.void setColor(int color){
677.HANDLE hConsole;
678.hConsole = GetStdHandle(STD_OUTPUT_HANDLE);
679.SetConsoleTextAttribute(hConsole,color);
680.}
```