

スーパーパズにおける深さ優先探索による手順の冗長性

新谷 敏朗†

福山大学工学部†

1. まえがき

スーパーパズはトランプの一人遊びのひとつである。52枚のカードをすべて表向きに4行13列に並べて始める完全情報ゲームである。スートごとに数上がり列を完成させることが目的で、1991年のGPCCで課題としてとりあげられた。①列数を減らしてもプレイが可能であり、人間がプレイする場合は6列程度のミニサイズが手頃であるといわれている。本報告では、深さ優先探索によって得られた解、すなわち初期局面から成功局面にいたる手順に含まれる冗長性について考える。

2. ルールと性質

スーパーパズのルールは以下の通りである。なお、スートをH, D, S, C, Ace, Jack, Queen, KingをそれぞれA, J, Q, Kと、10は0と表記する。

- 52枚のカードをシャッフルしてすべて表向きにして4行13列に並べる。
- 4枚のKを取り除く。それによってできた空白を「穴」と呼ぶ。
- 穴には次の規則によりカードを移動できる。
 - 穴が左端にある場合：任意のスートのAをその穴に移動できる。
 - 穴が左端にない場合：穴の左隣のカードに続くカードをその穴に移動できる。
 たとえば、穴の左隣がH7ならその穴にはH8を移動できる。しかし穴の左隣が穴またはQの場合はその穴にはどのカードも移動できない。
- 左端のAから昇順にQまで4行ともに並べば成功で、そうならない状態でカードの移動ができなくなると失敗である。

もし、列数6でプレイする場合は、上記の規則でカード枚数を $6 \times 4 = 24$ 枚とし、Kを6、Qを5と読み替える。また、4行のスートの並び方は問わないので、成功局面は24通り存在する。解を得るには初期局面から始めてルールに従って可能なカードの移動を行った子局面を作成していけばよい。ただし、1) 穴が4カ所あるので手順が違って同じ局面に至ることがある、2) 左端にAと穴がどちらも一つ以上あるとAが元の位置に戻ることができるので同一局面を繰り返し作成しないようにする必要があ

る。つまり木でなく、弱連結成分と強連結成分からなるグラフを作成していくことになる。②また、左端にAが*i*個、穴が*j*個存在する局面は(*i*,*j*)要素成分というので、強連結成分は(1,1)、(1,2)、(1,3)、(2,1)、(2,2)、(3,1)要素成分のいずれかである。成功局面は(4,0)要素成分に含まれる。

3. 初期局面と手順の例

図1に6列の場合の初期局面と成功局面までの手順の例をそれぞれ示す。

```
D2 S2 H4 H3 D6 H5
C2 H2 SA S4 C6 S3
S5 S6 D5 C4 DA H6
HA C5 CA D4 D3 C3
```

局面例

```
(D6, H4) → (S3, D6) → (S5, C6) → (HA, C6) → (C6, DA) →
(C5, C6) → (C6, D2) → (HA, C6) → (DA, C6) → (C6, HA) →
(DA, C6) → (CA, C6) → (D3, C6) → (C6, D5) → (S6, C2) →
(C3, C6) → (HA, S6) → (S6, DA) → (SA, S6) → (S6, H3) →
(S4, S6) → (S6, H4) → (S5, S6) → (S6, H5)
```

手順

図1. 局面と手順の例

図1において手順はカードの交換として表記しており、例えば(D6,H4)はD6の場所(穴)にH4を移動することを表す。(D6,H4)が初手で第24手の(S6,H5)で成功局面に至る。

4. 冗長な手順

図1の手順は深さ優先探索によって得られたもので、人間がみるとむだな手順を含んでいる。図では太文字かつイタリック書体で示した。冗長性が生じる原因としてつぎの2通りが考えられる。

- 弱連結成分のなかで、Aでないカード、たとえばH8がH7が2回移動するのにあわせて2回移動したが、実際は1回の移動でよい場合
- 強連結成分のなかで、左端にAと穴がどちらも存在する場合にA~4までのカードがむだな動きをする場合

本報告では2)の場合のカードの移動の冗長性のうち特にAのみの移動に関して考える。図1の場合では、4回移動している(HA, C6) → (DA, C6) → (C6, HA) → (DA, C6)という手順は(DA, C6) → (C6, HA)という2回の移動に短縮できる。このような冗

長性の除去に関して明らかに次の性質と系が成り立つ。

性質 1 強連結成分 S 中での移動回数を n とする。 n が S 中の任意の 2 節点間の最短距離の最大値 m を超えていれば、その手順は冗長である。

系 性質 1 の移動回数 n は m 以下にすることができる。

さらに、要素成分ごとの m の値はつぎのようになることがわかる。

- (1,1)、(1,2)、(1,3) : $m=1$
- (2,1)、(2,2) : $m=3$
- (3,1) : $m=4$

要素成分(1,1)、(1,2)、(1,3)は完全グラフである。要素成分(2,1)は節点数 6 の双方向の循環リストになる。要素成分(2,2)と(3,1)は 図 2 に示す。図 2 は局面の左端のみを示し、空白は穴、H,D と S はそれぞれ HA,DA と SA を省略したものである。スートと行の位置はルール上対称性があるので、一般性を失うことなく初期局面を図のように仮定することができる。

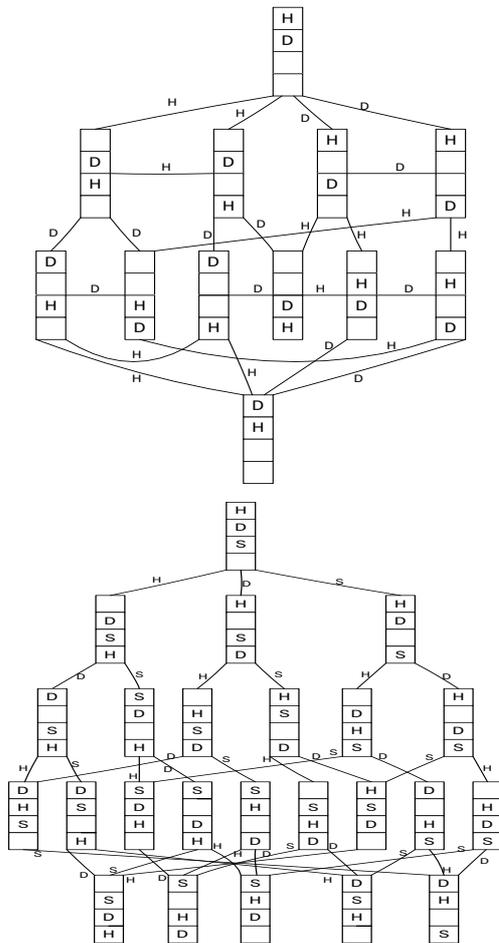


図 2. 要素成分(2,2)と(3,1)

5. 幅優先探索との比較

文献(3)と(4)のプログラムを使用して深さ優先探索と幅優先探索のそれぞれについて解の探索を実行した。その際、強連結成分の中で同じ局面を生成しないように工夫している。表 1 に列数 4 から 8 の場合について疑似乱数を用いて生成した各々 1000 個の初期局面に対して計算を実行した結果を示す。なお計算には CPU が Opteron 6128 (Dual) で、主記憶の容量が 256GB のマシンを用いた。

列数	4	5	6	7	8
最小手数	6	15	19	24	35
平均手数	104	165	216	240	299
最大手数	4122	4250	18206	14514	29748

深さ優先探索による結果

列数	4	5	6	7	8
最小手数	6	10	15	21	27
平均手数	15	22	31	40	50
最大手数	30	44	59	85	92

幅優先探索による結果

表 1 列数と手数の関係

この結果から、手数の最小値についてはそれほど差はないが、平均値と最大値については大きな差があることが確認できる。一つの初期局面に対して 24 個の成功局面が存在し得るので、深さ優先探索においても比較的冗長性が少ない手順が得られるが、10000 回を超える手順が得られる場合も生じることがわかる。

6. あとがき

本報告では、スーパーパズにおいて、深さ優先探索により得られる解がもつ冗長性を減らすことができることを示した。それだけでは最短手数にはならないが A のむだな動きをなくすることができるので、ある程度の効果はあると考えられる。今後深さ優先探索によって得られた手順から最短手数の解が得られるかどうか検討したい。

文献

- (1) 南雲, bit Vol.23, No. 5, pp99-100, 共立出版 (1991)
- (2) 新谷, 情報処理学会研究報告 2000-GI-3, pp.41-48 (2000)
- (3) 新谷, 情報処理学会シンポジウム論文集 Vol.99, No.14, pp.84-91 (1999)
- (4) 新谷, 福山大学工学部紀要 Vol.23, pp.95-102 (1999)

Verbosity of Movement by Depth-first Search on Superpuzz
 † Toshio Shintani, Faculty of Engineering, Fukuyama University