

スーパーパズにおける成功可能な局面と成功不可能な局面の分類

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。昔からプレイされている隙間(Gaps)というゲームのルールをカードの移動に関する選択肢が増えるように変更したもので、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。スート別の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⁾ 初期局面によっては、解が存在しない場合があるが、成功率は8割以上であると予想されている。また、列数を減らしてもプレイが可能であり、人間がプレイするには6列程度のミニサイズが手頃であるといわれている。筆者は1999年に全探索によって解を求めるプログラムを発表した。⁽²⁾ 当時は13列のフルサイズの場合には全探索は困難であったが、ハードウェア性能の向上により現在では全探索が可能になりつつある。本報告では、ある初期局面から作成したゲーム木を構成する局面の集合が成功に至る可能性があるものとそうでないもののふたつの部分集合に分割できることに着目する。そして深さ優先探索によってゲーム木を全探索すれば、特定の局面から成功局面に至ることが可能かどうか判定できることを示す。

2. ルール

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とそれぞれ表記する。

- a) 52枚のカードをシャッフルしてすべて表を上にして4行13列に並べる。
- b) 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。
- c) 穴には次の規則によりカードを移動できる。
 - ① 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。
 - ② 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。

- d) カードの移動により左端の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(順列)は問わないので、成功局面は24通り存在する。

3. 初期局面と手順の例

図1と2に列数4と13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。

```

DA SA S2 CA (DA, D4) → (D2, S4) → (H2, S4) →
H2 H3 H4 C3 (SA, D4) → (S2, D4) → (S3, D4) →
HA D2 S3 C4 (H3, D4) → (CA, S4) → (C2, D4) →
D4 S4 D3 C2 (C3, H4)
    
```

図1. 局面と手順例(1)

```

S3 D7 SQ D3 D2 DK D5 S2 C9 CJ H2 D4 H4
S4 SJ H3 D9 H5 S9 D8 C2 HJ SA DA HQ CA
DQ DJ D0 S7 C0 S0 S6 H9 C8 H8 H0 C3 C6
C5 C4 CQ H7 H6 HK SK S8 CK C7 D6 HA S5
    
```

フルサイズの局面例

```

(DK, D3) → (CK, S9) → (H6, CK) → (CK, H8) → (HK, H9) →
(HK, S7) → (HK, DJ) → (SK, H0) → (CK, C9) → (SK, C0) →
(SK, DQ) → (HA, SK) → (HK, H2) → (CQ, HK) → (HK, C5) →
(HK, HA) → (HK, DA) → (HK, S2) → (D6, HK) → (HK, C8) →
(S8, HK) → (HK, HJ) → (C3, HK) → (HK, CJ) → (SK, C9) →
(S9, SK) → (SK, HQ) → (SK, S3) → (HA, SK) → (SK, DA) →
(SK, HA) → (DA, SK) → (SK, CA) → (SK, S4) → (HA, SK) →
(SK, DA) → (HA, SK) → (DA, SK) → (SK, SA) → (C4, SK) →
(SK, C2) → (SK, D9) → (SK, H4) → (SK, D5) → (D4, SK) →
(CK, D7) → (D8, HK) → (H7, HK) → (HK, C6) → (HK, CQ) →
(D9, HK) → (H8, HK) → (D0, SK) → (SK, H3) → (SK, SQ) →
(H2, CK) → (H3, SK) → (H4, DK) → (CK, S2) → (SK, S3) →
(C5, CK) → (C6, SK) → (CK, C3) → (SK, C4) → (HK, C5) →
(H9, CK) → (H0, SK) → (HJ, HK) → (CK, C6) → (C7, SK) →
(C8, HK) → (HQ, CK) → (C9, CK) → (SK, C0) → (HK, CJ) →
(SK, S0) → (HK, SJ) → (HK, D2) → (H5, HK) → (CK, CQ) →
(CK, SQ) → (CK, D3) → (DK, D4) → (HK, D5) → (DJ, HK) →
(HK, S4) → (H6, CK) → (H7, DK) → (CK, D6) → (DK, D7) →
(H8, CK) → (H9, DK) → (CK, D8) → (DK, D9) → (H0, CK) →
(HJ, DK) → (CK, D0) → (DK, DJ) → (HQ, CK) → (DQ, CK) →
(S5, CK) → (S6, SK) → (S7, SK) → (S8, SK) → (S9, SK) →
(S0, SK) → (SJ, SK) → (SQ, SK)
    
```

手順

図2. 局面と手順の例(2)

図 1, 2 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 (DK,D3) は DK の場所 (穴) に D3 を移動することを表す。

4. 成功可能な局面と成功不可能な局面

ある特定の局面から生成されるすべての局面についてそれらの各々の局面が成功可能かどうかによって分類するアルゴリズムを次に示す。

- 0) 初期局面 t_0 から生成可能な局面を深さ優先探索によって生成していく。
- 1) 生成された局面は初期状態を「成功不可能」とする。
- 2) 成功局面 s が見つければ、 s から t_0 に至る道 P 上にある局面を「成功可能」とする。
- 3) ある局面 t から生成した子局面のなかに既に「成功可能」となっているものがあれば、その局面 t を「成功可能」とし、 t から t_0 に至る道 Q 上にあるすべての局面を「成功可能」とする。
- 4) step2 と 3 を生成可能な局面がすべて生成されるまで続ける。

このアルゴリズムが正しく動作することは以下のように証明できる。

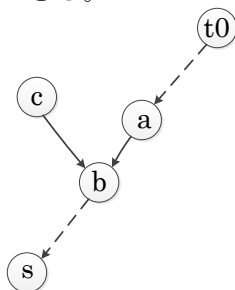


図 3. 成功局面に至る道

図 3 のように step2 の道 P 上に局面 a と b があって、 P 上にない局面 c から b にも枝があるとすると「深さ優先探索」の定義より t_0 から c と b を結ぶ枝を通して s に至る P とは異なる道 R が先に発見されることになる。しかしこれは道 P が先に探索されていることと矛盾するので、 c が a より先に生成されたものであることはあり得ない。従って c に対しては step 3 が適用されることになる。

明らかに次の系が成り立つ。

系 最初の成功局面 s_0 が見つけれられた時点では、 t_0 から s_0 に至る道上の節点のみが成功可能であって、それ以外の節点は成功不可能である。

5. 計算方法と結果

文献(2)のプログラムにおいて、成功局面に

至ったときに上記アルゴリズムの step2 を適用し成功可能な局面を集計していく。また、ルール c) ① を適用すると左端に穴が複数個存在する場合に元の局面に戻ることがあるので、同じ局面を生成しないように工夫している。その際など既に存在する成功可能な局面が生成されたときに上記アルゴリズムの step3 を適用して成功可能な局面をさらに集計していく。全探索が終了した時点で成功可能にならなかった局面は成功不可能な局面である。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 240GB のマシンを用いた。

列数	成功数	成功可能な局面の割合		
		最小値	平均値	最大値
4	868	1.25%	60.01%	83.86%
5	841	1.16%	46.50%	90.40%
6	819	0.09%	34.85%	69.76%
7	803	0.04%	26.32%	71.29%
8	817	0.01%	18.16%	68.70%

表 1 列数と成功可能な局面の割合の関係

この結果から、成功不可能な局面の割合は、列数に対して平均値は単調に減少することと、列数 8 の場合に 20%未満なのでフルサイズの場合には 10%未満であることが予想できる。図 2 の初期局面の場合では、全局面数 1,366,761,020 に対して成功可能な局面数は 73,288,067 であり、割合は 5.36%であった。

6. あとがき

本報告では、スーパーパズにおいて、ある特定の初期局面から深さ優先探索により全探索を行って生成される局面の集合を成功可能かどうかによってふたつの部分集合に分割できることを示した。これにより成功局面に至る解を導くアルゴリズムあるいはヒューリスティックな方法を考察するためのひとつのツールが得られたと考えられる。そして実際に計算を実行して成功可能な局面の割合を確認した。

文献

- (1) 南雲, bit Vol.23, No. 5, pp99-100, 共立出版 (1991)
- (2) 新谷,情報処理学会シンポジウム論文集 Vol.99, No.14, pp.84-91 (1999)

Partition of States into Possible and Impossible in Superpuzz
 † Toshio Shintani, Faculty of Engineering, Fukuyama University