

お邪魔者における妨害カード提出戦略とその評価関数

伊藤 那智^{†1} 大畑 佳介^{†1} 但馬 康宏^{†1}

概要: 多人数不完全情報ゲームの研究が盛んにおこなわれており、その一つである「お邪魔者」というボードゲームに着目した。「お邪魔者」の特徴として、プレイヤー間に非公開情報の役割“金鉱堀”と“お邪魔者”が存在し、自然言語を用いることなくこれらの役割の推定が行える。本論文では、プレイの妨害を行う役割である“お邪魔者”となったときに、妨害方法の一つである破壊カードについて、その提出戦略と評価関数を示した。一部分を完全情報としたときの評価を最適解とし、通常のゲームプレイにおいて開示されている情報のみで作った評価関数との比較を取り、通常のゲームプレイにおける評価関数の改善を行った。その結果、ゲーム中盤の状況の評価が最も良いことが分かった。

キーワード: 不完全情報ゲーム, お邪魔者

Disturbance card Submission Strategy and Evaluation Function in role “Saboteur”

NACHI ITO^{†1} KEISUKE OHATA^{†1} YASUHIRO TAJIMA^{†1}

Abstract: Multiplayer imperfect information games become hot topics on game informatics, and we focused on one of them, the board game called “Saboteur”. “Saboteur” has two secret player roles “gold digger” and “saboteur”, and those roles should be estimated without using natural language. In this paper, when player became “saboteur”, we show the submission strategy and the evaluation function about the destruction card which is one of disturbance methods. In the evaluation, we also make an evaluation function which uses hidden information. This cheat player is an optimum solution. Comparing it with our evaluation function, we can evaluate the performance of our function. As a result, it was found that the evaluation of the situation in the middle of the game has nice performance.

Keywords: imperfect information games, Saboteur

1. はじめに

近年、テーブルゲームにおいて、コンピュータによるゲームプログラムが活躍している。囲碁[1]や将棋[2]などの場の局面が有限な完全情報ゲームではモンテカルロ法が大きく成果を上げ、大貧民[3]などの不完全情報ゲームにもモンテカルロ法を含めた様々なゲームプログラムが作成されており、人間がプレイするよりも強い戦略や着手を行う。かつて定石といわれた戦略・着手を覆すなど新しい発見も期待される。最近では、不完全情報ゲームの研究が盛んに行われており、ガイスター[4]や人狼ゲーム[5]といったゲームのゲームプログラムの研究が行われている。

私たちは、その中のひとつである「お邪魔者」といわれるボードゲームに着目した。「お邪魔者」は、金鉱山をモチーフとしたドイツ発祥のボードゲームであり、3~10人でゲームを行う。1試合につき3ラウンド行い、各プレイヤーは、2つの役割“金鉱堀”と“お邪魔者”となり、ゲームを進行する。各役割の勝利条件を満たすことで報酬の金が配布される。この金を最も多く獲得したプレイヤーが勝利するゲームである。2つの役割は非公開情報となっており、人狼ゲームとは違い自然言語処理を必要とせず、各プレイヤー

の行動により役割の推定を行えることが特徴である。

本論文では、“お邪魔者”が“金鉱堀”の妨害を行う際、妨害の方法のひとつである破壊カードの提出の評価関数を作成し、その評価関数の評価を行った。

評価関数の評価方法として、不完全である情報を公開情報として扱い完全情報ゲームとしたとき、その時の破壊カードに対する評価を最適解とし、最適解が提出したかどうかと作成した評価関数が使用したかどうかの情報をを用いて、再現率、適合率、F値を求め評価を行った。

その結果、ゲーム中盤の時に破壊カードを使用することが最も良い評価であることが分かった。

2. お邪魔者

2.1 お邪魔者概要

「お邪魔者」とは、金鉱山をモチーフとしたボードゲームで、作者はベルギー人のフレデリック・モイヤーセン。2004年にズィーマン・ゲームズから発売された3~10人用の多人数不完全不確定情報ゲームである。

最初にスタートカードを配置し、カードを7枚分横に空けてゴールカードを裏向きに縦に3枚、1枚分間隔を空けて配置する。ゴールカードには、金塊カードが1枚、石カ

^{†1} 岡山県立大学大学院 システム工学専攻

ードが2枚存在する。

プレイヤーは、ゲームの初めに配られるキャラクターカードにより、“金鉱堀”か“お邪魔者”の役割が決められる。それぞれの役割の数は、プレイヤーの数によって決められる。各プレイヤーは、他のプレイヤーの役割はわからない状態である。

“金鉱堀”は、スタートカードからゴールカードまで通路カードをつなげ、ゴールカードの金塊を表向きにしたら“金鉱堀”の役割のプレイヤー全員が勝利となり、報酬の金塊を受け取る。

“お邪魔者”は、“金鉱堀”の行動を通路カードの一種である行き止まりカードを使用したり、アクションカードの中の道具破壊カードを使用したりして、妨害を行う。“金鉱堀”に見つからず邪魔をすることが重要であり、金鉱堀が金塊にたどり着けず、各プレイヤーの手札がなくなったとき、お邪魔者の勝利となり、報酬の金塊を受け取る。金塊にたどり着くか、手札をすべて使い切るまでを1ラウンドとして、合計3ラウンドを1ゲームとする。1ラウンドごとに役割は変わり、一番金塊を多く持っていたプレイヤーがそのゲームの勝者となる。

2.2 基本ルール

以下に「お邪魔者」の基本ルールについて示す。

「お邪魔者」は、3～10人で行う多人数不完全不確定情報ゲームである。ゲームをプレイするプレイヤーの人数によって、“金鉱堀”と“お邪魔者”の人数は決定される。プレイヤー6人の場合、“金鉱堀”が4～5人、“お邪魔者”が1～2人となる。ただし本論文では、プレイヤーは6人で固定し、“金鉱堀”5人、“お邪魔者”1人に固定する。

● カード内訳

ゲームで使用する通路カードとアクションカードの内訳は次のとおりである。また、ラウンド終了時に勝利した役割に配布する金カードの内訳も示す。

● 通路カード…40枚

- ① 十字路…5枚
- ② 丁字路（縦）…5枚
- ③ 丁字路（横）…5枚
- ④ 曲がり角（左→上）…4枚
- ⑤ 曲がり角（左→下）…5枚
- ⑥ 直線（縦）…4枚
- ⑦ 直線（横）…3枚
- ⑧ 行き止まり9種…9枚

● アクションカード…27枚

- ① 落石カード…3枚
- ② 宝の地図カード…6枚
- ③ 道具破壊カード3種…9枚
- ④ 道具修理カード3種…6枚
- ⑤ 道具修理カード3種（2種類修理版）…3枚

● 金カード…28枚

- ① 金塊3個分…4枚
- ② 金塊2個分…8枚
- ③ 金塊1個分…16枚

● 初期準備

各ラウンドの最初に盤面情報とプレイヤー情報の初期化を行う。盤面はスタートカードを配置し、x座標方向に7枚分空けてゴールカードを1枚配置し、y座標方向上下に1枚分スペースを空けながら2枚配置する。ゴールカードの内容は非公開情報である。

各プレイヤーの役割を決定する。その時プレイする人数によって“金鉱堀”と“お邪魔者”の人数を変更する。役割は、完全にランダムで決められ、1ラウンド終了するまで非公開情報となる。

● ゲームの手順

時計回りで1人ずつ手番を行う。最初に手番を行うプレイヤーは、ランダムに決定される。自分の手番になったら、次の3つの行動のうち、いずれか1つを行う。

A) 通路カードを使用し、通路を伸ばす

手札から通路カードを1枚選んで出し、壁と通路の絵柄を合わせつつ、他のカードと辺が接するように置く。カードを90度回転し、カードの長辺と短辺が接するように置くことはできない。また、通路カードは、スタートカードと通路がつながるように置かなければならない。通路が途中で分断されたとき、その先にカードをつなげることができない。

B) アクションカードの使用

アクションカードは、プレイヤーの行動を妨げたり、プレイヤーの行動を手助けしたりするカードである。以下にそれぞれの効果を示す。

● 落石カード

落石カードは、場に出ている通路カードに対して使用する。対象の通路カードを捨て札にする。ただし、スタートカードとゴールカードを対象とすることはできない。

● 宝の地図カード

3枚あるゴールカードのうち1枚を対象として使用する。対象のゴールカードを他のプレイヤーに内容がわからないように中身を確認して、元の場所に戻す。その後、真偽を含めて、他のプレイヤーに内容を伝えてもよい。

● 道具破壊カード

他プレイヤーを対象として使用する。選ばれたプレイヤーは、A)通路カードを使用し、通路を伸ばすの行動ができなくなる。このカードは、ランタン破壊、つるはし破壊、トロコ破壊の3種類があり、それぞれは重複して破壊することができるが、同じ種類の道具を破壊することはできない。

このカードを使用されたプレイヤーは、B)アクションカードの使用、C)手札を1枚捨ててパスを行うの行動はできる。

● 道具修理カード

任意のプレイヤーに使用されている道具破壊カードを対象として使用できる。対象の道具破壊カードを捨て札にする。ただし、対象とする破壊カードに対応した修理カードを使用しなければいけない。例えば、任意のプレイヤーがつるはしを破壊されていた場合、つるはしを修理するカードを使用しなければならない。このカードは、ランタン修理、つるはし修理、トロッコ修理の3種類がある。

● 道具修理カード (2種類修理版)

このカードは、修理できる対象が2種類になった修理カードである。ランタン・つるはし、つるはし・トロッコ、トロッコ・ランタンの3種類あり、カードに記載されている2種類のうちどちらか1種類を選んで修理することができる。ただし、両方を修理することはできない。

C) 手札を1枚捨ててパスを行う

手札から任意のカードを使用できない、もしくは使用したくない場合にパスを選択する。パスを選択した場合、手札から1枚選んで捨てる。このとき、捨てるカードの内容は、他のプレイヤーにはわからないように捨てる。ラウンド終了間際には、手札が1枚もないことがあるが、そのときは何も捨てずにパスを行う。

● ラウンドの終了

誰か一人のプレイヤーが、スタートカードから途切れずに続いている通路でゴールカードに到達したら、そのゴールカードを表にして、ラウンドの終了かどうかを確認する。ゴールカードに到達したとみなされるのは、最後に置いた通路カードの通路が、ゴールカードの方向に伸びている場合である。到達したゴールカードに金塊が描かれているなら、“金鉱堀”の勝ちとしてラウンドは終了する。石が描かれているなら、まだラウンドは続行する。

また、プレイヤー全員が手札をすべて出し切ってしまった場合は、“お邪魔者”の勝ちとしてラウンドが終了する。ラウンドが終了したら役割カードを公開する。

ラウンド終了時、2枚のゴールカードの間に通路が置かれて、両方のゴールカードに到達した場合は、両方のゴールカードを確認して、もしどちらかのカードが金塊であればラウンドが終了したとみなし、“金鉱堀”の勝ちとなる。

めくったゴールカードの通路と壁の構成が、周囲の通路カードとどうしても合わないときがあり、この場合は、例外的に一部つながらない状態においても構わない。しかし、めくられた後のゴールカードに対しては、通路と壁が合うように置かなければならない。

● 金カードの分配

前述した金カードが報酬となる。金カードを裏向きによく混ぜ、山札とする。

“金鉱堀”が勝利した場合、表1に示された枚数分金カードの山札から裏向きに取り出す。最初に、通路カードを使用してゴールカードに到達したプレイヤーが金カードの束

を受け取り、その中のカード内容を確認して、1枚選んで受け取る。その後、前の手番のプレイヤーに残りの金カードの束を渡す。これを金カードの束がなくなるまで繰り返す。

“お邪魔者”が勝利した場合、終了したラウンドにお邪魔者が何人いたかで金カードのもらう個数が決まる。表2に人数に対応して何個もらえるか示した表を示す。山札から、対応した個数分の金塊の合計と同じになるように選んで受け取る。このとき合計があていれば金カードはどのように受け取ってもよい。

各プレイヤーは、受け取った金カードを他のプレイヤーに内容がわからないようにする。

表1：金鉱堀が勝利した場合の報酬

人数	金カードの束の枚数
3人	3枚
4人	4枚
5人	5枚
6人	6枚
7人	7枚
8人	8枚
9人	9枚
10人	9枚

表2：お邪魔者が勝利した場合の報酬

ラウンドのお邪魔者の数	受け取る報酬
1人	金塊4個分
2人	金塊3個分
3人	金塊3個分
4人	金塊2個分

● 次のラウンド

金カードの分配が終了したら、次のラウンドを行う。前述のゲームの準備を行う。このとき、前ラウンドに受け取った金カードはそのまま手元に保管する。新しいラウンドの最初の手番は、前回の最後にカードを出したプレイヤーの次のプレイヤーからゲームを行う。

● ゲームの終了

3ラウンド終了後、ゲーム終了となる。各プレイヤーは、獲得した金カードに記載されている金塊の個数を合計し、最も多くの金塊を持っているプレイヤーがそのゲームの勝者となる。同点の場合は、該当するプレイヤー全員が勝者となる。

3. 妨害カードの評価関数

3.1 プレイヤの役職がわかっている場合の評価関数

役割がわかっている以外でプレイヤがわかっている情報は次の4つである。これらの情報を用いて、破壊カードの評価を行っていく。

1. 各プレイヤの行動履歴
2. 盤面状況
3. ターン数（使用したカード枚数）
4. 各プレイヤの破壊状況

評価値 `int` 型の `score` と破壊カードの対象を決める配列 `int` 型の `target[PLAYER]` を設定する。ここでの `PLAYER` はプレイヤ人数を示しており、整数値 6 である。`target[0]` はプレイヤ 0 を示す。1~3 において、破壊カードを使用すべきだと各項目で判断したら、`score` に加算する。4. において、各プレイヤ破壊状況を確認し、破壊状況に全くなっていないプレイヤに対して、破壊カードを積極的に使用していく。各項目の評価方法を示す。

1. 各プレイヤの行動履歴

各プレイヤの行動履歴から横へつなげることのできる道カードと修理カードが何枚使われているかを確認する。

横へつなげることのできるカードが 1 枚使われているごとに `score` を 10 ずつ加算する。

`score += (横道の使用魔数) × 10`

また、使う破壊カードに対応した修理カードが 1 枚使われているごとに `score` を 20 ずつ加算する。

`score += (該当修理カードの使用枚数) × 20`

2. 盤面状況

パラメータ `int` 型の `param_Board` を設定する。`x` 座標を示しており、このパラメータよりも盤面の `x` 座標方向に道が伸びていたら、`score` を 100 加算する。

3. ターン数（使用したカード枚数）

パラメータ `int` 型の `param_Turn` を設定する。このパラメータよりもターンが経過していたら、`score` を 100 加算する。

4. 各プレイヤの破壊状況

各プレイヤの破壊状況について確認する。どの破壊状態でもないとき該当するプレイヤ番号の配列に 1 加算する。

3.2 一部分を完全情報としたときの評価関数

不完全情報である他プレイヤの手札を完全情報として扱うことで破壊カードを使うべきタイミングがより正確になることが予想される。これを最適解として扱い評価関数を実装した。3.1 と同様に評価値 `int` 型の `score` と破壊カードの対象を決める配列 `int` 型の `target[PLAYER]` を設定した。以下に、評価関数の詳細を示す。

1. 各プレイヤの行動履歴

各プレイヤの行動履歴のうち、プレイヤがパスを選択したとき、非公開情報となっていた捨てるカード内容を公開

情報として扱った。この情報によりどのカードが何枚使用されているかがより正確にわかる。この項目では 3.1 と同様の評価を行う。

2. 盤面状況

3.1 の盤面状況の項目と同様の評価を行う。

3. ターン数

3.1 のターン数の項目と同様の評価を行う。

4. 各プレイヤの破壊状況

3.1 の各プレイヤの破壊状況の項目と同様の評価を行う。

5. 相手の手札の内容

相手の手札は、次ターン以降に使用される可能性があるカードの集合であり、ゴールされるのか、破壊カードを使用してすぐ修理する可能性があるのかがわかる。これらの評価を行い、評価値を定める。

まず、通路カードに対しての評価について、現在盤面において最もゴールに近い位置の座標を取得する。その座標から、最も近いゴールに対して最短で縦道（`y` 座標方向の道）、横道（`x` 座標方向の道）が何枚必要かを確認する。その枚数分の縦道と横道が相手の手札にあれば、ゴールされる可能性があるため `score` に 50 を加算する。また、最も評価の高い道、つまり、十字路や T 字路を持っているプレイヤに対して破壊カードを使用する。

次に、修理カードの評価について、使用しようとしている破壊カードに対応する修理カードがあれば、ゴールされない状況、つまり、盤面状況やターン数において `score` が加算されない場合、破壊カードを使用しない評価をする。また、ゴールされそうな状況である場合、通路カードの評価を行ったときの対象プレイヤに対して破壊カードを使用する。

4. 評価関数の評価方法・評価結果・考察

4.1 評価方法

評価関数の評価方法について示す。3.1 で述べた評価関数を以後通常関数といい、3.2 で述べた評価関数をチート関数という。通常関数が破壊カードを提出したかどうかとチート関数が破壊カードを提出したかどうかの情報を用いて、再現率、適合率、F 値を求めて関数の評価を行った。どちらの評価関数も破壊カードを使用した場合の値を TP 値、通常関数が破壊カードを使用せず、チート関数が破壊カードを使用した場合の値を FN 値、通常関数が破壊カードを使用し、チート関数が破壊カードを使用しなかった場合の値を FP 値、どちらの評価関数も破壊カードを使用しなかった場合の値を TN 値とする。このとき再現率、適合率、F 値は次の計算式で表される。

$$\text{再現率 : Recall} = \frac{TP}{TP + TN}$$

$$\text{適合率 : Precision} = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$F \text{ 値} : F = \frac{2TP}{2TP + FN + FP}$$

再現率では、チート関数が使用したときに通常関数が使用した割合、適合率では、通常関数において使用しているがチート関数で実際に使用した割合を示している。F 値は両方を加味した指標である。

通常の評価関数において、盤面状況と、進行ターン数のパラメータを変化させ、100 試合行ったときの値を用いて通常の評価関数の評価を行った。盤面状況のパラメータは序盤、中盤、終盤を示す 2, 5, 8 の 3 種類に固定し、ターン数のパラメータは、0~60 までも 6 ずつ変化させた。これは自分が何巡目以降に破壊カードの評価をしたか示している。このとき、チート関数において、盤面状況のパラメータは 5 に、ターン数のパラメータは 12 に固定して評価を行った。

4.2 評価結果

評価を行ったときの再現率、適合率、F 値について表 3, 4, 5 に示す。

再現率について、各パラメータを低く設定したときに通常関数においてはほぼ破壊カードを提出しているため、再現率が 1 もしくは、それに近い数値となっていることが分かった。

適合率について、盤面状況のパラメータにおいては、ほとんどパラメータが 5 であるときが高い割合を示していることが分かった。ターン数においては、12, 18 ターン以降の値はほぼ似た値を示していることが分かった。

F 値について、最も良い値を示しているのは、盤面状況のパラメータが 5 でターン数のパラメータが 12 であることが分かった。また、ターン数では 12, 18, 盤面パラメータでは 5 の時がよい値を示していることがわかった。

表 3 : 再現率

ターン数	盤面パラメータ		
	2	5	8
0	1.000	1.000	1.000
6	1.000	0.990	0.996
12	1.000	0.974	0.960
18	0.994	0.912	0.780
24	0.993	0.808	0.679
30	0.997	0.826	0.706
36	0.982	0.883	0.615
42	0.997	0.878	0.654
48	0.979	0.868	0.683
54	0.987	0.861	0.718
60	0.953	0.843	0.620

表 4 : 適合率

ターン数	盤面パラメータ		
	2	5	8
0	0.358	0.428	0.391
6	0.463	0.472	0.485
12	0.533	0.706	0.690
18	0.562	0.727	0.694
24	0.495	0.653	0.644
30	0.523	0.649	0.690
36	0.484	0.670	0.718
42	0.506	0.680	0.612
48	0.553	0.691	0.717
54	0.508	0.713	0.756
60	0.517	0.751	0.725

表 5 : F 値

ターン数	盤面パラメータ		
	2	5	8
0	0.527	0.600	0.562
6	0.633	0.639	0.652
12	0.695	0.819	0.803
18	0.718	0.809	0.735
24	0.661	0.722	0.661
30	0.686	0.727	0.698
36	0.648	0.762	0.662
42	0.672	0.766	0.632
48	0.707	0.770	0.700
54	0.671	0.780	0.737
60	0.670	0.794	0.668

4.3 考察

評価結果から、盤面進行状況が中盤であり、自分の番が 2 ~3 回回ってきたときから破壊カードを使用することが最も評価の高い手段となった。これは、序盤から破壊カードを使用することは、金鉱堀がいずれ引く修理カードで修理されやすく有効な妨害となっていないことがいえ、終盤に破壊カードを使用することは、すでにゴールされてしまっただか、後 1, 2 手でゴールされるため有効な妨害となっていないことがいえる。

5. おわりに

今回、「お邪魔者」における“お邪魔者”の破壊カードの評価関数を作成し、一部分を完全情報としたときの評価関数との再現率、適合率、F 値を求め、通常関数のパラメータを変化させたときにどのパラメータが最もよい値であったかを調査した。

その結果、盤面が中盤まで進んでいることと、自分の番が 2〜3 巡目になったときに破壊カードを使用することが最も良い手段であることが分かった。

参考文献

- [1] 田中一樹, 藤田玄: コンピュータ囲碁における対局の進行度判定を用いたモンテカルロ木探索, ゲームプログラミングワークショップ 2014 論文集, pp162-166, 2014
- [2] 大串明, 山本一将, 森岡祐一, 五十嵐治一: コンピュータ将棋における方策勾配を用いた局面評価関数の教師付学習, ゲームプログラミングワークショップ 2015 論文集, pp84-87, 2015
- [3] 田頭幸三, 但馬康宏: コンピュータ大貧民におけるヒューリスティック戦略の実装と効果, 情報処理学会論文誌 Vol.57 No.112403-2413, 2016
- [4] 川上直人, 橋本剛: 完全情報ゲームの探索を用いたガイスターAIの研究, ゲームプログラミングワークショップ 2018 論文集, pp35-42, 2018
- [5] 王天鶴, 金子知適: 人狼ゲームエージェントにおける行動選択手法の比較, ゲームプログラミングワークショップ 2017 論文集, pp177-182, 2017