

コンピュータブリッジにおけるディフェンダーのプレイ

小林 紀之 上原 貴夫
東京工科大学

あらまし コンピュータブリッジの研究は、従来、ディクレアラーのプレイを中心に行われてきた。本研究では、ディフェンダーの立場からプレイのアルゴリズムを考える。特に、完全情報ゲームとしてプレイすればコントラクトが達成できるようなハンドにおいて、ディフェンダーが不完全情報ゲームの特性を生かし、敵に仮想世界を信じさせることによりコントラクトを阻止する方法（ディセプティブプレイ）について、コンピュータブリッジへの実装方法を提案する。

Defensive Play in Computer Bridge

Noriyuki Kobayashi Takao Uehara
Tokyo University of Technology

Abstract

The main research theme on the computer bridge is used to be algorithms for the declarer's play. This paper proposes an algorithm for defensive play such as false carding (deceptive plays). A defender tries to make the declarer believe a virtual world in incomplete information game when the defender cannot defeat the contract if the declarer plays it as the complete information game (the double dummy bridge) in the real world.

1 はじめに

ブリッジは、不完全情報ゲームであり、チェスなどの完全情報ゲームとは異なる難しさがある。プレイは、コントラクトを達成しようとするディクレアラー側と、これを阻止しようとするディフェンダー側に分けて考えられる。ディクレアラーのパートナーはダミーとよばれ、最初のカードが出された直後にハンドをテーブル上に開き、以後のプレイはディクレアラーが代行する。従って、ディクレアラーは自分達のハンドを見て、コントラクトを達成するためのプランをたてることができる。ディフェンダー側は、ダミーのハンドは見えるが、ディクレアラーはもちろん、パートナーのハンドも見えないのでプレイはより難しくなる。

現在のコンピュータブリッジでは、可能性のある多数の世界（ディール）のおのおので完全情報ゲームを解くことにより近似解を求めるモンテカルロシミュレーションが主流である。通常、ディクレアラーのプレイについて用意したアルゴリズムをディフェンダーに

も適用する。しかし、ブリッジの上級者が行うディフェンスには、この方法では発見できないものがある。

我々は、ブリッジのビディングにおける各プレイヤーをエージェントとしてモデル化する方法を提案した[小林他 00]。このエージェントは、他のエージェントが推論するであろう自分のイメージに基づいて行動を決定する。本論文では、ブリッジのプレイにおいても、他のプレイヤーの知識や推論機構をモデル化することにより、より人間的な行動が可能となることを示す。

2 エージェントモデル

図1に[安藤他 98][安藤他 00]で提案したエージェントモデルを示す。ビッドに関する知識とオークションの段階での推論については[Ando and Uehara 00]に詳しい。ここでは、プレイの段階で用いる知識と推論について考察する。

プレイに関する知識としては、つぎのようなものがある

- (1) オープニングリードに関する取決め
- (2) ディフェンスに関するシグナル

これらは、パートナーとの約束事項であり、敵にも事前にどのような約束を使用するか知らせておかなければならない。リードやシグナルを観察し、これらの知識に基づくアブダクションにより、敵やパートナーのハンドに関する仮説を生成することができる[上原 94]。

本論文では、ブリッジプレイヤーがもつ経験則をエージェントの知識として加えることにより、興味深い行動が可能となることを示す。例えば、つぎのようなものがある。

- (3) 敵は自らの不利益になるようなカードは出さないはずである[小林他 00]。

本論文で対象とするディフェンダーのプレイに関する具体的な経験則の例としては、つぎのようなものが考えられる。

(3-1) ディフェンス側である4人目のプレイヤーは、負けるとわかっている場合には、最低のランクのカードを出して負ける。

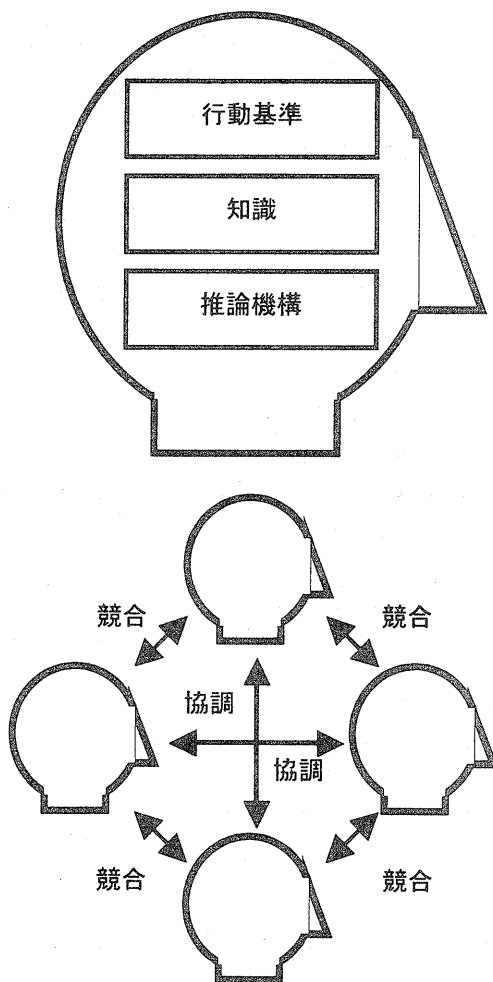


図1 提案したエージェントモデル

(3-2) ディフェンス側である4人目のプレイヤーは、勝つために出さなければならない場合には、勝てるうちの最低のランクのカードを出して勝つ。

我々の提案するエージェントは、これらの知識に基づき、ディフェンス側である4人目のプレイヤーが指定されたスーツのランク N のカードを出して負けた場合には、そのスーツに勝てるカードが無く、かつランクが $(N-1)$ 以下のカードが無いという仮説を生成する。

3 モンテカルロシミュレーション

見えていないカードの可能な分布(世界)を多数生成し、各世界でダブルダミーブリッジのミニマックス値を求め、選ばれた候補の中から全体として良さそうな行動を選ぶ方法が何人かの研究者により提案された。Ginsberg の作った GIB もこの方法を用いており [Ginsberg 99]、コンピュータブリッジのアルゴリズムの主流になっている。

Ginsberg は、行動の候補の集合を M としたとき、つぎのようにして一つの行動(つぎに出すカード)を決定している。

- 1) それまでのビッドおよびプレイと矛盾しないようにカードをくばり、ディールの集合 D を作る。
- 2) 各ディール $d \in D$ ごとに、各行動 $m \in M$ を選んだらどのような結果になるかダブルダミーで評価してスコア $s(m, d)$ を計算する。
- 3) $\sum_d s(m, d)$ が最大となるような行動 m を選ぶ。

このアルゴリズムは、ディクレアララーのプレイにもディフェンダーのプレイにも適用される。

4 ディフェンダーのプレイ

つぎのようなハンドでディクレアララーの South は Q, West は 3 を出し、ダミーの North からは 7 が出た場合、ディフェンダーの East は何をだすべきか(ただし、コントラクトは 3 ノートランプでこのスーツが 5 トリックとれなければ達成できず、North へのエントリーは他にはないものとする)。

North	A J 10 9 8 7	East	K 2
West	5 4 3	South	Q 6

前節のアルゴリズムに従った場合つぎのようになる。

- 1) 可能性のあるディールを多数生成しても、テーブル上に見えている North のハンドと、East 自身のハンドは同一である。
- 2) 各ディールはダブルダミーで (East が K2 であることを知って) プレイするものとして評価する。全てのディールで、2 を出せば South 側は 6 トリックとれ、K をだせば

5トリックとれる。スコアは5トリックとれるKのほうがEastにとって良いだろう。
3) スコア関数 s が2で仮定したとおりならば、必ずKが選択される。

ブリッジの上級者は、このような状況では、2を出すであろう。実戦では、上記アルゴリズムの仮定とは異なり、SouthにはEastのハンドが見えていない。従って、Southは次のラウンドでSouthから6, NorthからJを出して、EastのKに取られる可能性がある。この場合、Northにエントリー (Northへ移動する手段) がなくなるので、結局、South側はQの1トリックしかとれずにコントラクトは達成できなくなる。本研究の目的は、このようなディフェンダーのプレイを可能にすることである。

5 ハンドの推論

Quinlanは、ブリッジの解説書[Lawrence 86]にある知識に基づき、ビディングやオープニングリードから重要な絵札の位置を当てるエキスパートシステムを作った[Quinlan 79]。上原は、ビディングやプレイのための知識を用いて仮説推論をおこなえば、新たなエキスパートシステムを作らなくても、同様の機能が実現できることを示した[上原 94]。このような推論によって求められた各プレイヤーのハンドに関する制約条件は、3節のモンテカルロシミュレーションで「それまでのビッドおよびプレイと矛盾しないようにカードをくばり、ディールの集合 D を作る」際に利用される。

本論文では、経験則に基づいて他のプレイヤーのハンドを推論する機能をもったコンピュータディクレアラ (ディクレアラのエージェント) をコンピュータディフェンダー (ディフェンダーのエージェント) が騙す (ディセプティブ) プレイの実装方法について提案する。

6 アルゴリズムの提案

エージェント (プレイヤー) の集合を E とし、現在の状態 X_0 でプレイすべきエージェント e_0 の行動の候補集合を M_0 としたとき、つぎのようにして一つの行動 (つぎに出すカード) を決定する。

- 1) 各 $m_0 \in M_0$, $e \in E$ ごとに、それまでのビッドおよびプレイ (m_0 を含む) からの推論と矛盾しないようにカードをくばり、ディールの集合 $D(m_0, e)$ を作る。
- 2) 状態 X_0 における行動 m_0 の後で現れる状態 X において、プレイすべきエージェント e の行動の候補集合を M とする。各 $m \in M$, $d \in D(m_0, e)$ についてダブルダミーでスコア $s(m, d)$ を評価する。
- 3) 状態 X において、 $d \in D(m_0, e)$ に対する $\sum_d s(m, d)$ (ただし、ディール数が異なる場合は期待値) を計算し、 e がディフェンダーならば値を最小 (e がディクレアラならば値を最大) とするような m を選択し、これを m^* とする。
- 4) 状態 X における、 e 以外のエージェント $e' \in E$ が想定している各ディール $d' \in D(m_0, e')$ に対するスコアは、 e が m^* を選択したものとして計算する。

5) 状態 X0 において, $d_0.D(m_0, e_0)$ に対する $\sum_{d_0} s(m, d)$ (ただし, ディール数が異なる場合は期待値) を計算し, e がディフェンダーならば値を最小 (e がディクレアラールならば値を最大) とするような m_0^* を選択する.

先ほどの例ではつぎのようになる. ただし, 6 以下のカードは x で表した. また, 以下の説明をわかりやすくするために, South が 2 枚であることがわかっているものとする. また, North と South のハンドは変わらないので, 説明の中では省略する.

	North	A J 10 9 8 7
West	x x x	East K x
	South	Q x

1) $M_0 = \{K, x\}$, $E = \{\text{East, South, West, North}\}$ である.

East から見たディールは, つぎの d_1 しかない.

ディール d_1 :	West	x x x	East	K x
--------------	------	-------	------	-----

South から見たディールは, East が K を出した場合には d_1, d_2, d_3, d_4 である. East が 2 を出した場合には, 知識 (3-2) に基づく推論により「K を持っていない」という仮説が生成されるので, d_5, d_6, d_7 となる.

ディール d_2 :	West	x x x x	East	K
ディール d_3 :	West	x x	East	K x x
ディール d_4 :	West	x	East	K x x x
ディール d_5 :	West	K x	East	x x x
ディール d_6 :	West	K x x	East	x x
ディール d_7 :	West	K x x x	East	x

West から見たディールは, West の選択が x のみにかぎられるので省略する. North はディーナーなので South から見たディールが使われる.

2) K を出したの後, South からみたディールは d_1, d_2, d_3, d_4 でありいずれの世界でもディクレアラールは 5 トリックとれる.

2 を出したの後, South からみたディールは d_5, d_6, d_7 であり, d_5 では 6 トリックとれる. South から x を出し, West から x が出, North からプレイする状態 X では d_6, d_7 が可能性のある世界だが,

Aを出せば、それぞれ2, 2トリックとれ、

Jを出せば、それぞれ6, 3トリックとれる。

3) 従って、2を出したの後の状態 X ではディクレアラーは North から J を出すことを選択する。

4) 2を出したの後の East から見たディール $D(2, \text{East}) = d1$ において、状態 X で North が J を出した場合のディクレアラーのトリック数は1トリックである。

5) 最初の状態では、East が K を出したときは5トリック、East が2を出したときは1トリック取られると評価される。従って、ディフェンダーである East は評価値が最小となる「2を出す」ことを選択する。

以上のように、East が実在する可能性があると考えている世界 ($d1$) だけでは、K が選択される。East は実在しないことを知っているが、South が実在する可能性を信じていると推論される仮想世界 ($d2, d3, d4, d5, d6, d7$) を考慮に入れることで、不完全情報ゲームとしてより適切な行動を選択できることがわかる。

7 ディセブティブプレイ

つぎのようなハンドでディクレアラーの South がトランプの2を出し、West の5に対して J を出してフィネスをした。ここで、East は9または10を出すべきだとブリッジの本が教えている [Kelsey 82]。説明を簡単にするために、ここでは East は South が $Q8xx$ の4枚であることがわかっているものとする。

	North	AJ73		
West	K5		East	1094
	South	Q862		

3節のアルゴリズムに従った場合、負けることがわかっている East が9あるいは10を選択する理由はない (10, 9, 4が同じ評価となり、ランダムに選択した結果9あるいは10が選ばれる可能性はある)。

5節で提案したアルゴリズムではどうであろうか。

1) $M=\{10,9,4\}$ に対して、South のエージェントが East の各行動 $m0.M0$ を観察して行う推論により、生成されるディールの集合が異なる。

East から見たディールは、つぎの $d1$ になる。

ディール $d1$:	West	K x		East	109x
-------------	------	-----	--	------	------

South から見たディールは、East が10を出した場合は $d2$ 、East が9を出した場合に

は d 3, d 4 であり, East が x を出した場合には d 1, d 5, d 6 である (以下, North と South のハンドは省略).

ディール d 2 : West	K 9 x x	East	10
ディール d 3 : West	K x x	East	10 9
ディール d 4 : West	K 10 x x	East	9
ディール d 5 : West	K 9 x	East	10 x
ディール d 6 : West	K 10 x	East	9 x

West, North から見たディールは省略する

2) つぎに South がプレイすべき状態 X において, Q か x か選択する (8 は省略).

$D(10, \text{South}) = \{d2\}$ では, x が選択され 2 トリック取れる.

$D(9, \text{South}) = \{d3, d4\}$ では, x を出せば d 3 で 3 トリック, d 4 で 2 トリック, Q を出せば d 3 で 4 トリック, d 4 で 2 トリックなので, Q が選択される.

$D(x, \text{South}) = \{d1, d5, d6\}$ では, x を出せば d 1 で 4 トリック, d 5, d 6 で 3 トリック, Q を出せば d 1 で 3 トリック, d 5, d 6 でも 3 トリックなので x が選択される.

3) 従って, 最初の状態で East が 10 あるいは x を出せば, 状態 X で South は x を選択する.

最初の状態で East が 9 を出せば, 状態 X で South は Q を選択する.

4) 状態 X での各選択に従って, ディール d 1 でディクレアララーが獲得するトリック数を計算すると, South が x を選択した場合 4 トリック, South が Q を選択した場合 3 トリックである.

5) 最初の状態では, East が 10, x を出したときは 4 トリック, East が 9 を出したときは 3 トリック取られると評価される. 従って, ディフェンダーである East は評価値が最小となる「9 を出す」ことを選択する.

8 おわりに

ディフェンダーが不完全情報ゲームの特性を生かし, 敵に仮想世界を信じさせることによりコントラクトを阻止する方法 (ディセプティブプレイ) について, コンピュータブリッジへの実装方法を提案した. プレイヤーをエージェントとしてモデル化し, 各エージェントはプレイされたカードを観察してアブダクションによりハンド (ディール) に関する仮説を生成するものとした. ディフェンダーのエージェントは, 自分がプレイするカードを見てディクレアララーがどのような仮説を生成するか推論する. 生成された仮説が有り得な

いことを知っているも、ディクレアラのエージェントがその仮想世界でカードの選択を行うものとして MinMax 値を求め、自分がプレイすべきカードを決定する。この方法により、従来の実世界だけを用いる方法では発見できない、敵のミスを誘導するプレイが可能となる。

エージェントに与える知識は、モデル化すべきプレイヤーの技量に応じて様々なものが考えられる。今後、2人のディフェンダーの連携によるディセプティブプレイのモデル化も行いたい。なお、本手法はディクレアラがディフェンダーを騙す場合にも適用可能であるが、ここではわかりやすいディフェンダーのプレイを例として述べた。

参考文献

[安藤他 00] 安藤剛寿, 小林紀之, 上原貴夫: コンピュータブリッジのビッドにおける協調と競合, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J83-D-I, No. 7, pp.759-769 (2000).

[安藤他 98] 安藤剛寿, 関谷好之, 上原貴夫: コンピュータブリッジのビッドにおけるパートナーシップ, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J81-D-II, No. 10, pp.2366-2375 (1998).

[上原 94] 上原貴夫: コンピュータブリッジにおけるアブダクションの応用, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol. J77-D-II, No.11, pp.2255-2264 (1994).

[小林他 00] 小林紀之, 安藤剛寿, 上原貴夫: “不完全情報ゲームにおける推論とプレイのアルゴリズム”, ゲーム情報学研究会第二回研究会, 拓殖大学, 情報処理学会研究報告, 2-8, pp. 55-62 (2000).

[Ginsberg 99] M. L. Ginsberg: GIB: Steps toward an expert-level bridge-playing program, IJCAI-99 (1999).

[Kelsey 82] Hugh Kelsey : The tricky game: Deceptive play to winning bridge, Devyn Press(1982)

[Lawrence 86] M. Lawrence: How to read your opponents' cards, Devyn Press (1986).

[Quinlan 79] J. R. Quinlan: A knowledge-based system for locating missing high cards in Bridge, IJCAI-79, pp.705-710 (1979).