2020年度 卒業論文

麻雀における他家の手牌の待ち予測

2020年2月7日

電気情報工学科

（学生番号： 1TE16240N）

松田 真治

九州大学 工学部

**概要**

本論文では機械学習を用いた麻雀における他家の手牌の待ちを予測する手法を提案する。インターネット上で公開されている牌譜から他家の捨て牌、他家の副露などの情報を抜きだし、それらを教師データとして3層ニューラルネットワークを用いて学習を行う。

このとき他家の捨て牌情報に順序関係を持たせることで、より精度の高い予測結果を得られると考え、比較実験などを行った。

**目次**

1. はじめに
   1. 研究背景
   2. 研究目的
   3. 研究手法
   4. 麻雀の簡単なルール
   5. 麻雀の簡単な用語
2. 入力に順序関係の情報をもたせる重要性

3.1 捨て牌読みにおける順序関係の情報の重要性

3.2 手出しとツモ切り

3. データ

4. データの前処理

4. 待ち牌の推定

4.1 アルゴリズム

4.2 順序関係の情報を持った捨て牌の表現

4.3 順序関係の情報を持たない捨て牌の表現

4.4 副露（チー）の表現

4.5 副露（ポン）の表現

4.6 副露（カン）の表現

4.7 実装

5. 実験・結果

5.1 牌番号による比較

5.2 順序関係の情報の有無による比較(1)

5.3 順序関係の情報の有無による比較(2)

5.4 捨て牌順序2つと3つの比較

5.5 半荘数による比較

5.6 打牌数による比較

1. **はじめに**

**1.1 研究背景**

麻雀とは不完全情報ゲームである。将棋や囲碁のようにすべての情報がプレイヤーに開示されている完全情報ゲームと異なり、限られた情報の中から他のプレイヤーの状況を推察しつつ自分に与えられた手の価値の期待値を最大化するような選択を行い続けるゲームある。

例えば将来的には高くなりそうな手をもらった場合でも、他のプレイヤーにスピード感を感じた場合には、自分の手の価値を下げてでも速くあがることを優先したり、自分の手が安く勝負をする価値が低い場合でも、他のプレイヤーにのびのびとしたプレーをさせないように、ときにはブラフを用いてでも他のプレイヤーの足止めを行ったりもする。このように麻雀のような不完全情報ゲームでは自分都合のみでプレイの選択を行うことは少なく、常に他のプレイヤーの状況を推察しながら臨機応変な立ち回りをすることが重要である。

周りの状況に臨機応変に対応しながら自分の意思決定を行う様は現実世界でいうところの押し引きと非常に類似している。したがって麻雀のような不完全情報ゲームに関する研究を行うことによって、現実で起こる押し引きの絡むような問題を解決する手助けとなる可能性があり、研究の意義は十分にあると言える。

**1.2 研究目的**

本研究の目的は牌譜を教師データとして学習を行ったモデルを用いて、押し引きの際に特に重要な要素の一つである他家の待ち牌の予測を行うこと及びその予測性能を向上させる手法を提案することである。

**1.3 研究手法**

先行研究[1][2][3][4][5]などにおいて待ち牌の予測に用いられる情報はある色に着目したときの捨てられた枚数や牌の種類の枚数などの順序関係の情報を持たない情報であった。

しかし捨て牌から他家の手牌の推測を行う際に相手がどの順で手牌を切ったか、またどのように副露した後にどのような牌を切ったかなどといった順序関係に関連した情報は極めて重要なものだと一般的に考えられている。そこで本研究では入力に順序関係の情報を与える手法について提案する。

**1.4 簡単な麻雀のルール**

麻雀のルールについて簡単に説明する。

まず麻雀とは34種\*4枚の合計136枚の牌を用いて4人のプレイヤーが互いの得点を奪い合うゲームである。









図1-1. 麻雀牌

麻雀牌は1~9の牌からなる数牌と東南西北白発中からなる字牌から構成される。また数牌には萬子（マンズ）、筒子（ピンズ）、索子（ソーズ）といった種類が存在する。図1で言えば上の列から順番に萬子の1~9,筒子の1~9,索子の1~9,字牌となっている。



図1-2. 赤牌

また5萬,5筒,5索の各４枚の内１枚は色が赤くなっており、それぞれ赤5萬,赤5筒,赤5索と呼ばれ、まとめて赤牌と呼ばれる。赤牌を持った状態のまま和了することで、ボーナス点のようなものがつく。

麻雀の1試合は半荘という単位で呼ばれる。半荘は複数の局から成り立っており、最終局が終わった時点での得点の多寡で順位を競う。

局の開始時に各プレイヤーは13枚の牌を配られる（配牌）。配牌が終わると、山から1枚牌を引くツモという行為と手牌から牌を１枚捨てる打牌という行為を行う。このツモと打牌の1セットの動きを各プレイヤーが順番に行う。

手持ちの13枚にツモってきた牌１枚、もしくは手持ちの13枚に他家の捨てた牌1枚をあわせた14枚の牌が特定の形を満たし、かつ役がある場合にプレイヤーは和了（ホーラ）を宣言し、役に準ずる点数を得ることができる。

ツモってきた牌で和了することをツモと呼び、他家の捨てた牌で和了することをロンと呼ぶ。

和了を宣言するための特定の形には3つの種類があり、それぞれ一般形、七対子形、国士無双形と呼ばれる。

ここでは最も基本的な一般形についてのみ説明を行う。

一般形とは1雀頭と4面子から構成される形である。

雀頭とは同じ牌2枚によって構成される形である。

面子とは3枚または4枚の牌による特定の組み合わせで、順子、刻子、槓子の3種類が存在する。

順子は種類の同じ連続した牌3枚によって構成される形である。

刻子は同じ牌3枚によって構成される形である。

槓子は同じ牌4枚によって構成される形である。

図1-3. 雀頭の例

図1-4. 順子の例

図1-5. 刻子の例

図1-6. 槓子の例





図1-7. 和了一般形の例

また麻雀には面子を完成させる方法と副露と呼ばれるものがある。副露とは自分の手牌にあと一つ牌が揃えば面子が完成するという状況で、かつ他家がその足りない一つの牌を捨てた場合に、出来上がった面子を他家に晒すことと引き換えに、その牌を河から拾って面子を完成させることである。

副露にはチーとポンとカンが有る。

チーとは副露して順子の形を作ることであり、これは自分の上家（向かって左側のプレイヤー）の河からしか牌を拾うことができない。

ポンとは副露して刻子の形を作ることであり、全ての他家の河から牌を拾うことができる。

カンとは副露して槓子の形を作ることであり、ポンと同様に全ての他家の河から牌を拾うことができる。またカンは他家の牌を拾わずとも、自分で四枚同じ牌を集めた時点で他家に晒すことができる(暗槓)。厳密に言えば暗槓は副露ではない。

次に麻雀の役について説明する。役とは和了の形が特定の条件を満たした場合に付加されるもので、基本的に貰える点数はその役の数によって決定される。一般的なルールでは約48の役が存在する。

最も基本的な役は立直（リーチ）である。立直とは1000点支払い、自分が聴牌していることを他家に宣言することで付加される役である。

他にも１種類の数牌のみによって構成される清一色（チンイーソー）や么九牌を手牌に含まない断么九（タンヤオチュー）など様々な役が存在する。

例えば図1-7は、雀頭と全ての面子が必ず么九牌を含んでいるので混全帯么九（ホンチャンタイヤオチュー）という役が付加される。

**1.5 麻雀の簡単な用語**

**聴牌**（テンパイ） 和了に必要な牌の枚数が１枚の状態。

**不聴**（ノーテン） 聴牌していない状態。

**向聴数**（シャンテンスウ） 聴牌に必要な牌の枚数。

**n向聴**（nシャンテン） 聴牌に必要な牌の枚数がn枚の状態。

**山** ツモで取ってくる牌が並べられている場所のこと。

**河** 打牌で捨てる牌を並べる場所のこと。

**半荘**（ハンチャン） 1ゲームの単位。

**局** ゲームの最小単位のこと。複数の局によって半荘が構成される。

**流局** 全てのプレイヤーが和了できずに終局した状態のこと。

**配牌** 局開始時に全プレイヤーに配られる13枚の牌のこと。

**他家**（ターチャ） 自分以外のプレイヤーのこと。

**上家**（カミチャ） 左側のプレイヤーのこと。

**対面**（トイメン） 正面のプレイヤーのこと。

**下家**（シモチャ） 右側のプレイヤーのこと。

**数牌** 1~9の牌。萬子、筒子、索子の3種類が存在する。

**字牌** 数牌でない牌。東南西北白発中の7種類が存在する。

**色** 萬子、筒子、索子の種類のこと。一色手とは混一色や清一色などの限られた種類の牌だけで構成した和了に付加される役のことを指す。

**么九牌**（ヤオチュウパイ） 数牌の1・９と字牌のこと。

**中張牌**（チュウチャンパイ） 数牌の2~8のこと。

**和了**（ホーラ） 手牌を一定の形に揃えて公開すること。他のゲームなどにおける「あがり」に相当する。

**ツモ** ツモした牌で和了すること。

**ロン** 他家の捨てた牌で和了すること。

**副露** 他家の打牌を取得することで面子を完成させること。鳴きと呼ばれることもある。

**2.入力に順序関係の情報を持たせる重要性**

**2.1 捨て牌読みにおける順序関係の情報の重要性**

他家の捨て牌から相手の待ち牌を読む場合に、牌を切る順番などの順序関係の情報が重要になる理由について一つの例を用いて簡潔に説明する。

まず前提として麻雀において数牌は端に近づけば近づくほど利用価値が低くなる。例えば1を用いて構成できる面子は123,111の2パターンしか無いが、5を用いて構成できる面子は345,456,567,555の4パターンと1を用いて構成できる面子の数と比較すると2倍である。

したがって基本的に牌の利用価値は1,9<2,8<3-7である。仮に自分の手牌に1と5の両方があり、かつそれが共に自分の手に不要な牌でいずれ二枚とも捨てる予定だとした場合、捨てる順序は1,5の順になるのがセオリーである。しかし実際にゲームをやってみると往々にして5,1の順で捨てるパターンが存在する。この順番に捨てる理由は様々である。一例を挙げると、雀頭と全ての面子が么九牌を含んだ時に付加される手役である混全帯么九などを狙っている場合などが多い。したがって1,5の順で切られている場合に比べると5,1の順で切られている場合の方がわずかに端牌の危険度が高く、中張牌の危険度は低くなると考えるのがセオリーである。

このように捨て牌の情報に順序関係をもたせると推測できる要素が増えるため、入力に順序関係の情報を与えることは重要だと考えられる。

**2.2手出しとツモ切り**

麻雀では牌の切り方に2つのパターンが存在する。手出しとツモ切りである。手出しとは牌を山からツモした後、もともと手牌にあった牌を切ることである。それに対してツモ切りとは牌を山からツモした後、そのツモした牌をそのまま切ることである。

この２つは似ているようで大きく意味が異なる。

手出しされた牌とは、何らかの理由があって手牌に残していたが、ツモってきた牌の価値がより高かったために切られてしまった牌である。言い換えれば捨て牌にある牌よりは価値が高く、手牌にある牌よりは価値が低い牌である。

一方ツモ切りされた牌とは手牌にある牌よりは価値が低いが、捨て牌にある牌より価値が高いとは必ずしも言えない牌である。

2.1では5,1の順で牌を切った場合、端牌の危険度が増すと述べたが、実際は1がツモ切りだった場合、この推測は成立しない。あくまでもこの推測は1と5が比較されたことが前提となっている。

したがって捨て牌に順序関係の情報を持たせる際には、切られた牌が手出しであるかツモ切りであるかという情報を盛り込むことによってより待ち牌予測の性能が向上すると推測される。

**3.データ**

**3.1 概略**

牌譜はオンライン麻雀サイト天鳳の最上位卓である鳳凰卓のものを利用した。牌譜は天鳳公式サイト[6]にて無償で公開されている。期間は2017年度のもので、ルールは四人打東南戦赤有り喰断么九有りである。

また天鳳の牌譜はXMLファイルによって特殊な形式で表現されているため、機械学習で用いるためには解析をする必要がある。解析については小林聡氏のブログ[7][8][9][10]を参考にした。

**3.2 牌譜解析**

天鳳の牌譜はXMLファイルであるが、XMLの仕様に準拠した表記はされておらず、実質、天鳳の独自構文であると考えて良い。

具体的にはゲーム中に起こった事象をタグとその属性で表現し、それが起こった順に並べられているだけである。閉じタグなども存在していない。

天鳳の牌譜は1ファイルが1半荘を表す。

<INIT>タグは局の開始を表現し、<AGARI>タグ、<RYUKYOKU>タグはそれぞれ、和了があった場合の情報、和了がなかった場合の情報が表現されている。<AGARI>タグも<RYUKYOKU>タグもともに局の終了を表現するタグである。すなわち<INIT>タグから<AGARI>タグまたは<RYUKYOKU>タグまでで一局を表現している。1つのXMLファイルにこの<INIT>タグから<AGARI>タグまたは<RYUKYOKU>タグまでが局数分書いてある。また様々なタグを用いて<INIT>タグから<AGARI>タグまたは<RYUKYOKU>タグタグの間に、どのような打牌があったか、どのような副露があったか、リーチはいつ行われたかなどの情報が表記されている。本研究では和了の情報のみを利用するため、<INIT>タグ〜<AGARI>タグまでの情報のみを利用した。

本研究で利用したタグについて簡潔に説明する。

まず前提として、天鳳の牌譜では136枚の牌に0~135までの牌番号が振られている。

ツモ情報は<T(牌番号)>, <U(牌番号)>, <V(牌番号)>, <W(牌番号)>の形で表記されている。T,U,V,Wは誰がツモしたかを表現している。また、打牌情報は<D(牌番号)>, <E(牌番号)>, <F(牌番号)>, <G(牌番号)>の形で表記されている。D,E,F,Gは誰が打牌したのかを表現している。T,U,V,Wの表すプレイヤーはそれぞれDEFGの表すプレイヤーと対応している。

例えばAさんが0の牌をツモって0の牌を打牌し、その次にBさんが1の牌をツモして2の牌を打牌した場合は<T0><D0><U1><E2>のように表現される。

和了情報は<AGARI>タグで表現されている。AGARIタグは複数の属性を持つが、本研究で利用したのは和了したプレーヤーが誰かを表すwho属性と和了したプレーヤーの副露状況を表すm属性である。m属性は副露状況が2進法を用いて独特な表記がなされているため、詳細は上記の小林氏のブログを参考にしていただきたい。

**4.データの前処理**

**4.1 牌に手出し・ツモ切りの情報を持たせる表現**

ツモ切りした牌と手出しした牌を違う牌だとみなすと、牌の種類は合計74種類と考えることができる。

したがって以下のような対応をさせることで0~73の数字で手出し・ツモ切りの情報を持った牌の表現ができる。

表4-1. 牌と番号の対応付け

|  |  |
| --- | --- |
| 牌 | 番号 |
| ツモ切り一萬〜九萬 | 0~8 |
| ツモ切り一筒〜九筒 | 9~17 |
| ツモ切り一索〜九索 | 18~26 |
| ツモ切り東、南、西、北 | 27~30 |
| ツモ切り白、発、中 | 31~33 |
| ツモ切り赤五萬、赤五筒、赤五索 | 34~36 |
| 手出し一萬〜九萬 | 37~45 |
| 手出し一筒〜九筒 | 46~54 |
| 手出し一索〜九索 | 55~63 |
| 手出し東、南、西、北 | 64~67 |
| 手出し白、発、中 | 68~70 |
| 手出し赤五萬、赤五筒、赤五索 | 71~73 |

**4.2 順序関係の情報を持たない捨て牌の表現**

順序関係の情報を持たない捨て牌とは、要するに何を切ったかという情報である。図4-2の捨て牌からデータを抽出する事を考える。



図4-2. 捨て牌例（すべてツモ切りとする）

入力ベクトルとして列数74、初期値0の表を考える。次に捨て牌のそれぞれの牌番号について対応する列番号の存在フラグを1にする。今回の場合は列番号4,11,23,27の列の存在フラグを1にすれば良い。

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 列番号 | 0 | 1 | ・・・ | 4 | ・・・ | 11 | ・・・ | 74 |
| 存在  フラグ | 0 | 0 | ・・・ | 1 | ・・・ | 1 | ・・・ | 0 |

図4-3. 順序関係の情報を持たない捨て牌を表すベクトルのイメージ

**4.3 順序関係の情報を持った捨て牌の表現**

順序関係の情報を持った捨て牌の作り方について説明する。

簡潔に言えば任意の二枚の牌を捨てる順序関係について一意に数字を割り当てて管理すれば良い。二枚の牌の組み合わせは高々 74 \* 74 = 5476 であるから、予め二枚の牌の打牌順序関係を0~5475の数字に対応する方法を決めておけば、任意の打牌の順序関係を表現することができる。

本研究では(先に捨てた牌の牌番号) \* 74 + (後に捨てた牌の牌番号)という式を用いて、二枚の牌の打牌順序関係を数字と対応付けた。

例として図4-2の捨て牌から順序関係を持った捨て牌のデータを抽出することを考える。

はじめに捨て牌からすべての順序関係を抜き出す。図4-2の場合は（ツモ切り五萬, ツモ切り三筒）,（ツモ切り五萬, ツモ切り六索）,（ツモ切り五萬, ツモ切り東）,( ツモ切り三筒, ツモ切り六索), (ツモ切り三筒, ツモ切り東),( ツモ切り六索, ツモ切り東)である。これを牌番号に置き換える。置き換えたものが(4,11),(4,23),(4,27),(11,23),(11,27),(23,27)である。これらの数字の組み合わせを上記の(先に捨てた牌の牌番号) \* 74 + (後に捨てた牌の牌番号)という式に通すとそれぞれ307,319,323,837,841,1729となる。

よって入力ベクトルとして図4-3のような5476列の表を用意し、列番号307,319,323,837,841,1729の列の存在フラグの値を1にする。

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 列番号 | 0 | ・・・ | 307 | ・・・ | 1729 | ・・・ | 5475 |
| 存在  フラグ | 0 | ・・・ | 1 | ・・・ | 1729 | ・・・ | 0 |

図4-4. 順序関係の情報を持つ捨て牌を表すベクトルのイメージ

このようにすることで、任意の２つの牌を切った順序を表現することができ、入力に順序関係の情報を与えることができる。

**4.4 副露情報（チー）**

赤牌を含むかどうかで2パターン存在する。

どこの牌を鳴いたかで3パターン存在する。

副露した牌の中で最小の牌番号をもつ牌の種類で21パターン存在する。具体的には123チーの場合1,234チーの場合2,…,789チーの場合7のようにチーの場合、最小の牌の数字は1~7の7種類で、それが萬子、筒子、索子の3種類ずつあるので合計21種類である。

したがって2 \* 3 \* 21 = 126より全てのチーは適宜0 ~ 125の数字に対応させることができる。

**4.5 副露情報（ポン）**

赤牌を含むかどうかで2パターン存在する。

どの牌を鳴いたかで34パターン存在する。

したがって68列あれば全てのポンは表現できるので適宜数字と対応させる。

**4.6 副露情報（カン）**

カンの種類（暗カン・明カン・加カン）で3パターン存在する。

どの牌を鳴いたかで34パターン存在する。

したがって102列あれば全てのカンは表現できるので適宜数字と対応させる。

**5.実験手法**

**5.1 パラメータ**

以下のようなパラメータを用いて機械学習を行った。

・順序関係の情報を持った捨て牌

・順序関係の情報を持たない捨て牌

・副露

**5.2 実装**

Chainerで３層ニューラルネットを構築して学習を行った。第1層の入力数は入力次元数、出力数は100。第2層の入力数は100、出力数は100。第三層の入力数は100、出力数は2。最適化関数はAdamを利用した。エポック数50、バッチサイズ16で学習を行った。

データは49%を訓練データセットとして、21%を検証データセットとして、30%をテストデータセットとして利用する。

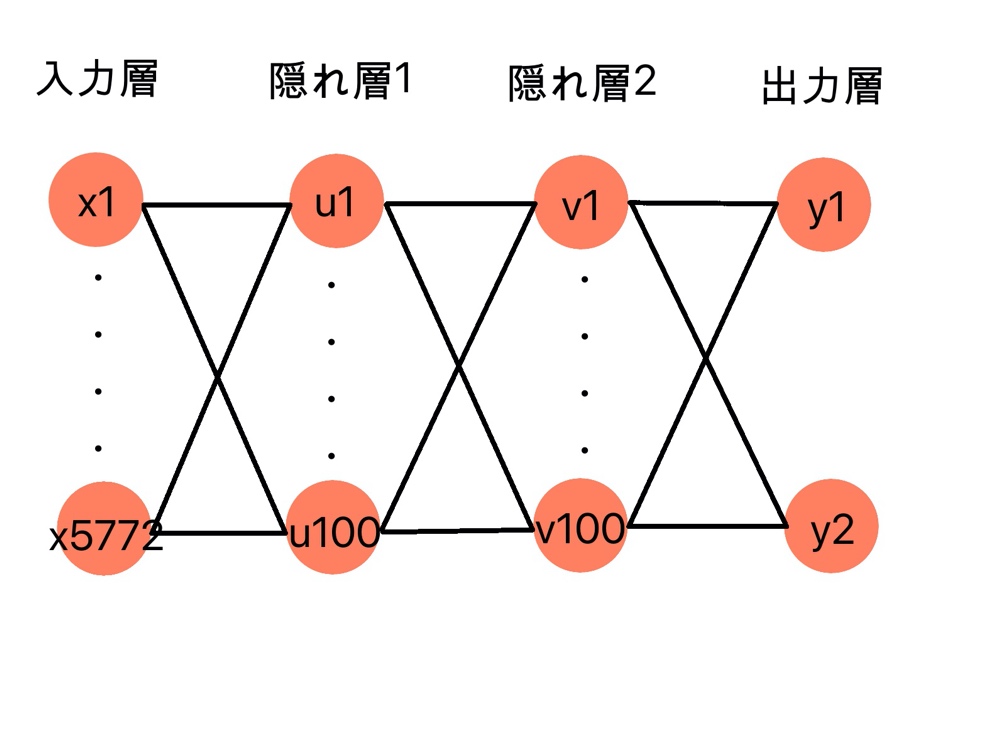


図. NNイメージ図

**5.実験・結果**

**5.0 サイコロを振った場合**

参考までにサイコロで当たり牌か当たり牌でないかを決めた場合の結果を示す。

確率aで当たり牌だと決めるとすると

precision = tp / (tp + fp) = 1 / 2

recall = tp / (tp + fn) = a

f1score = 2 \* recall \* precision / (recall + pre) = a / (a + 1 / 2)

となる。したがって確率a = 1とすると、f1scoreは最大値2 / 3を取る。

**5.1 牌番号による比較**

使用したパラメータ：順序関係の情報を持った捨て牌、副露

和了数：251128

全ての牌について待ち予測を行なった。

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 牌 | Acc | Acc | Pr0 | Pr1 | Re0 | Re1 | Fs0 | Fs1 |
| 一萬 | 0.999 | 0.944 | 0.956 | 0.117 | 0.987 | 0.038 | 0.971 | 0.057 |
| 二萬 | 0.999 | 0.915 | 0.938 | 0.124 | 0.973 | 0.057 | 0.955 | 0.078 |
| 三萬 | 0.999 | 0.895 | 0.926 | 0.129 | 0.964 | 0.065 | 0.944 | 0.087 |
| 四萬 | 0.999 | 0.867 | 0.910 | 0.139 | 0.947 | 0.085 | 0.928 | 0.105 |
| 五萬 | 0.999 | 0.861 | 0.905 | 0.160 | 0.946 | 0.094 | 0.925 | 0.119 |
| 六萬 | 0.999 | 0.871 | 0.912 | 0.138 | 0.949 | 0.081 | 0.930 | 0.102 |
| 七萬 | 0.999 | 0.897 | 0.927 | 0.120 | 0.965 | 0.059 | 0.945 | 0.079 |
| 八萬 | 0.999 | 0.913 | 0.936 | 0.120 | 0.973 | 0.052 | 0.954 | 0.073 |
| 九萬 | 0.999 | 0.944 | 0.956 | 0.092 | 0.986 | 0.029 | 0.971 | 0.045 |
| 一筒 | 0.999 | 0.946 | 0.957 | 0.125 | 0.988 | 0.038 | 0.972 | 0.058 |
| 二筒 | 0.999 | 0.915 | 0.937 | 0.121 | 0.975 | 0.050 | 0.956 | 0.070 |
| 三筒 | 0.999 | 0.897 | 0.927 | 0.112 | 0.965 | 0.055 | 0.946 | 0.074 |
| 四筒 | 0.999 | 0.871 | 0.913 | 0.142 | 0.949 | 0.086 | 0.931 | 0.108 |
| 五筒 | 0.999 | 0.864 | 0.905 | 0.150 | 0.949 | 0.082 | 0.927 | 0.106 |
| 六筒 | 0.999 | 0.871 | 0.911 | 0.143 | 0.952 | 0.080 | 0.931 | 0.102 |
| 七筒 | 0.999 | 0.899 | 0.930 | 0.122 | 0.965 | 0.063 | 0.947 | 0.083 |
| 八筒 | 0.999 | 0.916 | 0.937 | 0.113 | 0.976 | 0.045 | 0.956 | 0.064 |
| 九筒 | 0.999 | 0.945 | 0.955 | 0.092 | 0.988 | 0.026 | 0.971 | 0.040 |
| 一索 | 0.999 | 0.946 | 0.957 | 0.102 | 0.989 | 0.028 | 0.972 | 0.045 |
| 二索 | 0.999 | 0.913 | 0.937 | 0.129 | 0.972 | 0.060 | 0.954 | 0.082 |
| 三索 | 0.999 | 0.902 | 0.930 | 0.126 | 0.968 | 0.060 | 0.948 | 0.081 |
| 四索 | 0.999 | 0.872 | 0.914 | 0.145 | 0.949 | 0.089 | 0.931 | 0.110 |
| 五索 | 0.991 | 0.846 | 0.907 | 0.140 | 0.924 | 0.114 | 0.915 | 0.126 |
| 六索 | 0.999 | 0.871 | 0.912 | 0.140 | 0.950 | 0.083 | 0.931 | 0.104 |
| 七索 | 0.999 | 0.900 | 0.928 | 0.125 | 0.967 | 0.060 | 0.947 | 0.081 |
| 八索 | 0.999 | 0.916 | 0.939 | 0.126 | 0.974 | 0.057 | 0.956 | 0.078 |
| 九索 | 0.999 | 0.947 | 0.958 | 0.100 | 0.988 | 0.031 | 0.973 | 0.047 |
| 東 | 0.999 | 0.984 | 0.984 | 0.029 | 0.999 | 0.001 | 0.992 | 0.002 |
| 南 | 0.999 | 0.985 | 0.986 | 0.064 | 0.999 | 0.004 | 0.992 | 0.007 |
| 西 | 0.999 | 0.987 | 0.988 | 0.021 | 0.999 | 0.002 | 0.994 | 0.003 |
| 北 | 0.999 | 0.987 | 0.988 | 0.056 | 0.999 | 0.003 | 0.993 | 0.006 |
| 白 | 0.999 | 0.982 | 0.984 | 0.034 | 0.999 | 0.002 | 0.991 | 0.004 |
| 発 | 0.999 | 0.983 | 0.984 | 0.057 | 0.999 | 0.004 | 0.992 | 0.007 |
| 中 | 0.999 | 0.982 | 0.983 | 0.068 | 0.998 | 0.008 | 0.991 | 0.014 |

表4. 実験5.1の結果

上の結果から数牌は真ん中に近いほど推測の精度が上がり、端に近づくほど推測の精度が下がることがわかる。これは人間のセオリーとも合致する。

また字牌の推測の精度が数牌の推定の精度と比べると低い。これも人間のセオリーに合致する。

したがってある一定の学習はなされていると考えられる。

**5.2 順序関係の情報の有無による比較(1)**

使用したパラメータ：順序関係の情報を持たない捨て牌、順序関係の情報を持った捨て牌、副露

和了数：251128

予測した牌：五萬

一方は順序関係の情報をもった捨て牌＋副露で、他方は順序関係の情報を持たない捨て牌で待ち予測を行った。

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 順序 | Acc | Acc | Pr0 | Pr1 | Re0 | Re1 | Fs0 | Fs1 |
| 無 | 0.901 | 0.900 | 0.900 | 0.363 | 0.999 | 0.001 | 0.947 | 0.002 |
| 有 | 0.999 | 0.866 | 0.903 | 0.159 | 0.953 | 0.080 | 0.927 | 0.106 |

表5. 実験5.2の結果

**5.3 順序関係の情報の有無による比較(2)**

使用したパラメータ：順序関係の情報を持たない捨て牌、順序関係の情報を持った捨て牌、副露

和了数:334630

予測した牌：五萬

一方は順序関係の情報をもった捨て牌＋副露で、他方は順序関係の情報を持たない捨て牌で待ち予測を行った。

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 順序 | Acc | Acc | Pr0 | Pr1 | Re0 | Re1 | Fs0 | Fs1 |
| 無 | 0.902 | 0.901 | 0.901 | 0.0 | 0.999 | 0. | 0.948 | nan |
| 有 | 0.992 | 0.856 | 0.905 | 0.149 | 0.939 | 0.0979 | 0.921 | 0.118 |

表6. 実験5.3の結果

順序関係の情報有りのほうが良い推測の精度が出ている。よって順序関係の情報の有益性が確かめられた。

**5.4 捨て牌の順序2つと3つの組み合わせの比較**

使用したパラメータ：順序関係の情報を持った捨て牌(２つ版)、順序関係の情報を持った捨て牌(3つ版)、副露

和了データ数：6745

予測した牌：五萬

一方は順序関係の情報を持った捨て牌(２つ版)＋副露、他方は順序関係の情報を持った捨て牌(3つ版)+副露で推測を行った。順序関係の情報を持った捨て牌(3つ版)の作り方は4.2の方法を拡張しただけである。ただし3つに拡張すると捨て牌の表現だけで74\*74\*74=405224列になってしまい、メモリが不足してしまうため800半荘分でしか実験を行うことができなかった。

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 版 | Acc | Acc | Pr0 | Pr1 | Re0 | Re1 | Fs0 | Fs1 |
| 2 | 0.959 | 0.899 | 0.912 | 0.111 | 0.983 | 0.020 | 0.946 | 0.035 |
| 3 | 0.996 | 0.910 | 0.912 | 0.000 | 0.997 | 0.000 | 0.953 | nan |

表7. 実験5.4の結果

2つ版のほうが高い精度で推測をできている。しかし半荘数があまりにも少なすぎて3つ版の学習が不十分だった可能性が高く、一概に3つ版が2つ版より劣っているとは言い切れない。

**5.5 和了データ数による比較**

使用したパラメータ：順序関係の情報を持った捨て牌、副露

予測した牌：五萬

和了データ数83613、167675, 251128のデータでそれぞれ待ち予測を行った。

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 和了数 | Acc | Acc | Pr0 | Pr1 | Re0 | Re1 | Fs0 | Fs1 |
| 83613 | 0.999 | 0.877 | 0.902 | 0.147 | 0.968 | 0.0488 | 0.934 | 0.0734 |
| 167675 | 0.999 | 0.863 | 0.903 | 0.161 | 0.949 | 0.0886 | 0.926 | 0.114 |
| 251128 | 0.998 | 0.858 | 0.904 | 0.157 | 0.942 | 0.0987 | 0.923 | 0.121 |

表8. 実験5.5の結果

半荘数を増やすに連れ推測性能が良くなっていることがわかる。

（もっと半荘数を増やして実験を行う予定）

**5.6 打牌回数による比較**

使用したパラメータ：順序関係の情報を持った捨て牌、副露

和了数：167675

予測した牌：五萬

一方は何も条件を加えずに推測し、他方は打牌が10回以上あった上がりのみを抽出して推測を行っている。

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 打牌制限 | Acc | Acc | Pr0 | Pr1 | Re0 | Re1 | Fs0 | Fs1 |
| 無 | 0.999 | 0.863 | 0.903 | 0.161 | 0.949 | 0.0886 | 0.926 | 0.114 |
| 有 | 1.0 | 0.865 | 0.900 | 0.177 | 0.955 | 0.0828 | 0.927 | 0.113 |

表9. 実験5.6の結果

打牌回数を十回以上のものに限定した場合のほうが入力が密になるためより良い推測の精度が出ると想定していたが、実際にはリコールなどにおいて打牌回数を制限していないもののほうが良い推定の精度がでた。

（正直原因はよくわからないのでもうちょっと実験してみます。）

**6．考察**

**7．終わりに**

**参考文献**

[1] 我妻敦,原田将旗,森田一,古宮嘉那子,小谷善行. SVRを用いた麻雀における捨て牌危険度の推定.

[2] 栗田萌,保木邦仁. 麻雀における他家の手牌と待ちの予測に基づく放銃確率推定. p.4

[3] 矢ノ口裕貴,篠埜功. ニューラルネットワークを用いた麻雀の捨て牌危険度推定. p.2

[4] 水上直紀,中張遼太郎,浦晃,三輪誠,鶴岡慶雅,近山隆. 多人数性を分割した教師付き学習による4人麻雀プログラムの実現. p.7

[5] 北川竜平,三輪誠,近山隆. 麻雀の牌譜からの打ち手評価関数の学習. p.5

[6] オンライン対戦麻雀 天鳳 / ログ, <https://tenhou.net/sc/raw/>

[7] 天鳳の牌譜を解析する(1),

<https://blog.kobalab.net/entry/20170225/1488036549>

[8] 天鳳の牌譜を解析する(2),

<https://blog.kobalab.net/entry/20170228/1488294993>

[9] 天鳳の牌譜を解析する(3),

<https://blog.kobalab.net/entry/20170312/1489315432>

[10] 天鳳の牌譜を解析する(4),

<https://blog.kobalab.net/entry/20170720/1500479235>