

氏名(本籍)	佐々木 宣介 (宮城県)
学位の種類	博士(情報科学)
学位記番号	情博第99号
学位授与年月日	平成10年11月12日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科, 専攻	東北大学大学院情報科学研究科(博士課程) システム情報科学専攻
学位論文題目	ニューラルネットによるゲーム解答能力の研究
論文審査委員	(主査) 東北大学教授 沢田康次 東北大学教授 山本光璋 東北大学教授 川上彰二郎 (工学研究科)

論文内容要旨

1. はじめに

近年、計算機技術は飛躍的な発展を遂げ、単純計算能力をはじめとする一部の機能においては既に人間を越える能力に到達した。しかし、一方で将棋や囲碁のような複雑な知的ゲームのプログラミングでは、いまだに人間のプレイヤーに及ばない。これらのゲームにおいては可能な手の範囲が非常に広いため、コンピュータが得意とするしらみつぶしに先読みする手法が有効に働かず、探索にのみ依存しないアルゴリズムが求められている。

そこで本研究では、ニューラルネットワークの持つパターン認識能力と汎化能力、さらに、入力に対して速やかに反応を返すという特性を利用して、ニューラルネットワークを複雑な知的ゲームに応用する事を目指した。本論文では、知的課題として、単純なソーティング課題及び詰碁課題を採用し、これらの課題にニューラルネットワークを適用した。碁にニューラルネットワークを適用するにあたり、特に唯一解を持つ局面に着目し、石の配置とその配置における唯一解を直接学習データとしているのが本研究の特徴である。

2. ニューラルネットワークのゲームへの応用

(1) セルソーティング課題への適用

まず、生物界に見られるセルソーティング現象をモデルにして作ったソーティング課題についてニューラルネットワークを適用した。この課題は6×6の盤上に黒白の石を配置し、隣り合う石の色によって評価値を定め、全体の評価値が最大になるように石の並べ替えを行う課題である。黒同士が隣り合った時に評価値が高くなるように設定すれば、黒石がひとつかたまりに集まった状態が最大の評価値を得る配置となる。初期配置から、どれだけ最大配置に近づいたかを示す課題達成率を定義して、ネットワークの能力を評価した。

ランダムに結合を選んで交換する方法では、この課題を十分に解くことは出来なかった。次に、入力層ニューロンが石の配置、出力層ニューロンが次に交換する結合に対応させたネットワークを用い、学習を行った。ニューラルネットワークに全ての可能な配置のうちの一部について、先読みによって求めた最善手を教師信号として用いて学習させた。

その後、石の配置を入力として与え、ネットワークからの出力にしたがって石の交換を行うという方法でネットワークに課題を解かせた結果、図1に示したように、未知の問題に対しても良い解答を答える能力をネットワークが獲得した事がわかった。

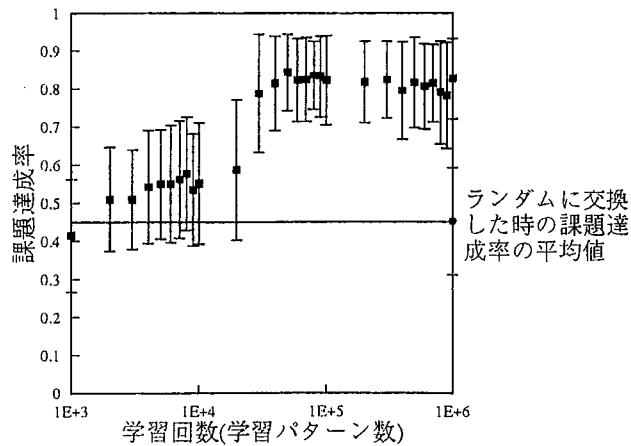


図1 ネットワークを用いた時の課題達成率 (入力層ニューロン数: 36, 中間層ニューロン数: 50, 出力層ニューロン数: 60, 教師信号の先読みの深さ: 3 手, 学習定数 $eps: 0.1$, 200通りの初期配置に対する課題達成率の平均値をあらわす)

以上の事から、ネットワークが一部の配置における「良い手」を学ぶ事により、未知の配置に対しても充分に対応出来る解答能力を獲得する事が確認された。

(2) 詰碁課題への適用

次に複雑な知的ゲームである碁にニューラルネットワークを適用した。

ネットワークは図2に示したように3層構造のフィードフォワードネットワークを利用し、バックプロパゲーション法で学習を行った。ネットワークの入力層は盤の座標と石の種類に直接対応し、出力層は次の一手の座標に対応している。また、詰碁の問題は狭い範囲に限定される事が多いため、盤の大きさを 9×9 の大きさとして、その範囲に収まる問題のみを扱った。

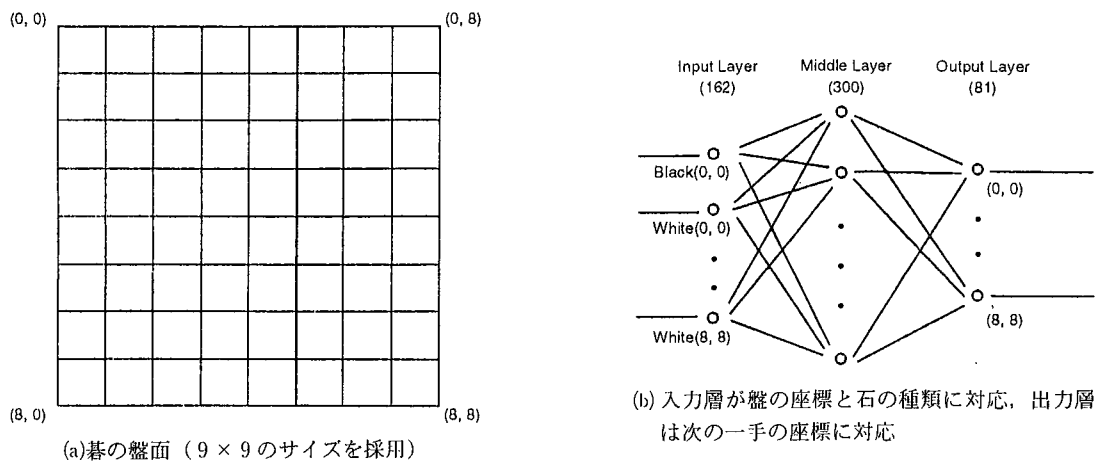
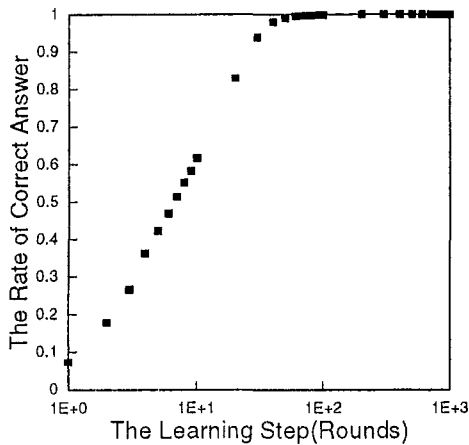


図2 ネットワークの構造

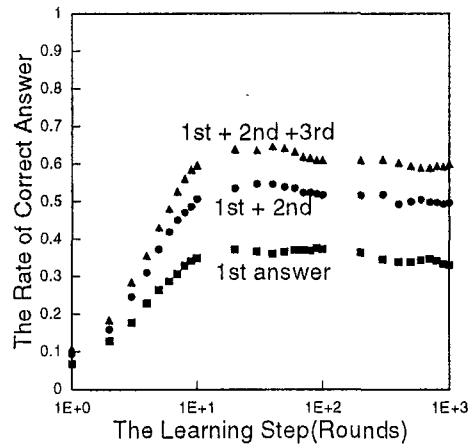
学習及び評価には詰碁の問題集から採取した黒先白死の問題の黒の手を利用した。約3400手のデータを採取し、学習用データ2000手、評価用データ1000手からなるデータの組を5通り用意した。図2のネットワークに対し、問題局面の配置を入力信号として与え、答えの手を出力層の教師データとしてバックプロパゲーション法で学習を行った。その際、学習用として用意した2000手の問題を順番に1回学習する事を1ラウンドと定義した。

5通りの学習すべての場合で数100ラウンドの学習で、100%正解を答え、ニューラルネットワークは学習した全ての局面についての解答を記憶した事がわかった。

学習がある程度進んだ段階で、学習に使わなかったネットワークにとっては未知の問題1000手に対して、どの程度の解答能力があるかを評価した。未知の局面に対する評価では、ネットワークの出力する候補手を5番目まで調べて正解と一致するかを調べた。その結果、第3候補手までの中に約55%から65%、第5候補手までの中で約65%から75%の局面の正解手が含まれていたことがわかった。図3に、5通りの学習データの中から1つについての学習した問題および未知の問題に対するネットワークの正答率を示す。



(a) 学習に用いた問題に対する正答率 (入力層ニューロン数: 162, 中間層ニューロン数: 300, 出力層ニューロン数: 81, 学習定数 eps : 0.1, 全問題数: 2000)



(b) 未知の問題に対する正答率 (入力層ニューロン数: 162, 中間層ニューロン数: 300, 出力層ニューロン数: 81, 学習定数 eps : 0.1, 全問題数: 1000)

図3 ニューラルネットワークの詰碁課題の学習結果

以上の事から、ニューラルネットワークが詰碁課題において、ある程度の局面パターンを学習する事によって、未知の局面に対して適切な解答を与える能力を獲得したと言える。

さらに、過去に行われた人間のプレイヤーに詰碁の問題を見せて数秒間で直観的に答えさせる実験で得られた人間のプレイヤーの解答能力とニューラルネットワークの解答能力を比較した。人間のプレイヤーにおける実験では、数秒間で詰碁に解答した時の正答率は、プレイヤーの棋力と高い相関がある事がわかっている。したがって、同じ問題に対するネットワークの解答能力を調べて人間のプレイヤーの結果と比較する事によってネットワークの解答能力がどの程度の強さの人間のプレイヤーに対応するか推測できる。

人間のプレイヤーが解答した問題と同じ問題の中から、ネットワークが解答可能な 9×9 の範囲で黒先白死の問題についてのネットワークの正答率を調べた。その結果、ニューラルネットワークの詰碁解答能力は人間の初段のプレイヤーが直観的に答えた場合の正答率に対応することがわかった。

3. 結 論

本研究ではニューラルネットワークをゲームのような知的な課題に適用する事を目指した。その結果、比較的単純なソーティング課題だけでなく詰碁課題についても有効な解答能力をニューラルネットワークが獲得した事が確認できた。ニューラルネットワークを詰碁解答プログラムに適用する事が有効であると期待される。さらに、詰碁にとどまらず、ゲームのような知的課題を行う人工知能プログラムを製作する際に共通の有力な武器になると期待される。

論文審査の結果の要旨

最近、チェスやオセロでは計算機が人間の世界チャンピオンに勝ち、ゲーム等に必要とされる知的能力においても計算機が人をうわまわることが起きている。しかしながら、これは主として計算機処理速度の向上によるものであって、囲碁や将棋の様にその複雑さがより大きいゲームに対しては計算機がまだ人に及ばない。この理由は、これらのゲームにおいて人は可能な全ての着手を検討しているわけではなく有効と思われる手を直感的に認識できるからである。著者は、ニューラルネットワーク (NN) の持つ特徴抽出能力と汎化能力に着目し、それによって人の「直感」に相当する機能をどの程度実現できるかを研究した。本論文はこれらの成果を纏めたもので全編6章よりなる。

第1章は序論で、これまでのゲームプログラミングの研究の経緯を述べている。

第2章は NN の一般的特徴、本研究にもちいた3層構造フィードフォワード型ネットワーク構造及びその学習アルゴリズムについて概観している。

第3章では、細胞選別をモデル化したソーティング課題を NN に解かせている。教師信号として物理的局所情報を与えるのに比べて、非局所的に有利な情報を与えることにより未知の問題に対する正解率が40%から80%に増大することを示している。

第4章では、囲碁の中では比較的空間的に局限され唯一最善手が存在する詰碁課題を NN に学習させるときの解答能力について研究した結果について述べている。黒先白死で 9×9 以内のサイズのもの2000局面について、その石の配置をニューロン数162の入力層に入力し、正解をニューロン数81の出力に与えて学習させた。中間層のニューロン数300、学習係数0.1の場合、既学習問題については30回の学習で90%、100回の学習で100%の正解率を得ている。また未学習問題1000に対する正解率は第一候補手の正解率は約40%、第3候補手迄を含めた正解率は約65%であった。しかしながら既学習問題の本質を変えず、余分な石を付加して創った類似の未学習問題に関しては100%に近い正解率が得られることを示した。これらの結果はゲームに用いる際の NN の汎化能力にたいして新しい知見を与えるもので評価できる。

第5章では、詰碁における人の直感的解答能力との比較を行い、本研究で得た NN の詰碁解答能力が初段相当であることを立証している。また、前章で得られた結果にもとづいて詰碁の正解率をあげる種々の方策について検討し囲碁プログラムに対する展望を与えている。

第6章は結論である。

以上要するに、本論文はゲームのなかで唯一解が知られている詰碁をニューラルネットワークに学習させたとき、既学習の問題と未学習の問題に対する学習能力と解答能力についての研究を行ない、詰碁アルゴリズム設計に関する多くの指針を与えたものでシステム情報科学の進展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士 (情報科学) の学位論文として合格と認める。