

論文審査の結果の要旨

論文提出者氏名 熊田 陽一郎

サッカーエージェント研究は、協調行動を特徴とするサッカーをロボットやエージェントに遂行させることを目的とし、研究開始時にはマルチエージェントによる協調学習の問題に対する貢献が期待されていた。しかしながら、現状では、フォーメーションやポジションの学習が中心となっており、当初の期待に届いていないと言いき。というのも、フォーメーションやポジションの決定は、エージェントがお互いの動きを予測しながら積極的な相互作用を行うことによって生じる協調戦術とは言えないからである。そこで本論文では、敵や味方の動きの予測をもとに行う協調戦術の学習のモデル化を通して、マルチエージェントシステムにおける学習による協調作業の獲得機構および協調学習の新しい方法を提案し、評価することを目的としている。具体的には、人間の初心者にはサッカーを指導する際の指導法に基づいた学習方法を、意思決定手法と強化学習の枠組を用いてサッカーエージェントの学習として定式化、適用することを試みる。

第一章では、マルチエージェントシステムにおける学習の問題と、サッカーエージェント研究の動向について紹介している。そして、サッカーエージェントを実際のサッカープレイヤーと比較したとき、これまで考慮されてこなかった戦術（スキルでも戦略でもない）が協調学習にとって重要なことを述べている。

第二章では、まず、著名なサッカー指導者 Hughes による、人間の初心者にはサッカーの協調戦術を学習させる方法について述べている。そして、この方法では、1) フィールドを小領域に分けて領域の広さと性質に応じた戦術を学習させるのが重要なこと、2) サッカーの戦術決定とは、他プレイヤーの行動の予測と状態のリスク計算の最適化であること、が強調されていることを述べている。

次に、この Hughes の学習方法に基づきエージェントプログラムを構築し、協調戦術を学習によって獲得する過程をシミュレートする、という方針が明確にされており、エージェントの設計と学習のモデル化が詳細に述べられている。具体的にエージェントは、

1. 状況をグリッドにより離散状態変数化し、
2. 状態間の条件付確率（他エージェントの振舞い傾向についての情報を与える）をプレーの経験により学習し、
3. 与えられた課題の達成（もしくは失敗）に基づき、(profit sharing 法に類似した方法で) 経験済みの状態の効用値を増減させ、状況に応じたリスク計算を学習する。

第三章では、シミュレーション実験を行う環境とその結果について述べている。具体的には、3×4のグリッドで攻守3対2の環境でのシミュレーションが行われた。その結果、

1. 本エージェントが、学習によって、壁パスやワンツーパスのような小人数による基本的な協調戦術を獲得できたこと、
2. オープンスペースを使ってやり取りされるパスが学習によって増加し、それにつれて、攻撃側（3エージェントからなるチーム）の勝率が有意に増加したこと、
3. 強化学習の代表的方法である Q-learning と比較して、マルチエージェントの動的環境下での学習として本方法が頑健性がもつこと、

が示されている。

第四章では、第三章で提案した学習方法をより一般的な連続空間での学習環境に拡張し、マルチエージェント協調学習の方法としての一般性を示している。具体的には、既存のサッカーエージェントで、単純な動作ルールを用いながらも RoboCup チャンピオンチーム CMUnited を下すほどの高いパフォーマンスを示すチーム YowAI の基本スキルをベースとし、意思決定部分を第三章で提案した予測とリスク計算に基づく方法によるもので置き換えている。さらに、計算量の問題から、エージェントは自分を中心とした相対グリッドにより環境の情報を状態変数化している。シミュレーション環境として RoboCup 標準サッカーサーバが用いられた。

このような設定のもとで、学習課題として、1) 味方間でパスが通れば報酬がもらえる課題（ボール支配課題）、2) 第三章と同様にエンドラインを突破すれば報酬がもらえる課題（防御突破課題）、3) 11 対 11 形式のゲーム課題、の 3 種類のシミュレーションを行っている。その結果、いずれの課題においても、本論文の学習エージェントは YowAI エージェントを上回るパフォーマンスを示したことが述べられている。

第五章では、第三章と第四章のシミュレーション結果がまとめられている。続く第六章で関連研究における本研究の位置付けについて、第七章で本論文のまとめが述べられている。

以上のように、本論文は、これまで例のなかった、マルチエージェントが動的な環境下で相互に動作モデルを学習し合うことで協調戦術を獲得していくための学習方法を提案しており、サッカーエージェント研究やマルチエージェント研究に大きく貢献するものと言える。また本モデルは、人間の協調学習の認知モデルとしても意味をもつと考えられる。

したがって本論文は、マルチエージェント研究やサッカーエージェント研究の分野において獨創性を有し、大きな貢献をもたらすものであると判断し、博士(学術)の学位を授与するにふさわしいものと審査委員会は認定する。