

(2019年度) ちゅうでん教育振興助成

高等専門学校の部 (2020年度助成)

報告書資料 No - 07

学校名	豊田工業高等専門学校
活動・研究のテーマ	サッカーロボットを利用した AI の有用性理解のための実演活動

〈活動・研究の意義および活動報告〉

豊田高専が2002年以来、毎年出場するロボカップサッカー小型リーグ(SSL)は、ロボット11台(2021年～)によるサッカーの競技会である。上空に設置されたカメラから送信されるフィールド全体の情報(敵・味方のロボット、ボールの位置)に基づいて、AI(人工知能)が戦略を立て、各ロボットに指令値を一斉同時に無線送信することで試合が進行する。試合中、人が操縦することはない。現在では、仮に11名の人間が一人1台のロボットをラジコンで操作したとしても勝つことは不可能である。子供たちを含む、一般市民にコンピュータで制御することの利点や性能を理解してもらうことは、科学に対する興味を惹きだし、より快適で安全な生活をする上で大切なことと考える。そこで、我々はロボカップで使用するロボットを用いてAI対人間のミニゲームを行い、ヒトが操作するよりもAIの方が簡単かつ正確に制御できることを理解・体験してもらうことを目的とする。

2020~2021年、そして現在もCOVID-19の影響で、対面での活動が困難であり、残念ながら一度も実演活動は行っていない。しかし、AI・ロボットの開発は継続して行っており、研究成果を着実に挙げてきた(RoboCup世界大会5位, RoboCup Asia Pacific 2021 Aichi大会3位入賞, 同大会ロボット学会賞受賞)ので、ここにその成果を紹介する。

1. ソフトウェア開発

1.1. 戦術(AI)システム

SSLでは、ロボットにどのようにパスやドリブルの判断をさせるかという戦略・戦術について、各国・チーム様々な研究を行っている。我々は2019年、Monte Carlo Tree Search(MCTS)とニューラルネットワーク(NN)を用いた手法をSSLに導入し、現在までにNNの導入、探索の並列化を実施した。

図1に示すMCTSは、数ある行動の選択肢の中から有望なものに絞っていくゲームの先読みをするもので、囲碁AIなどで用いられる手法の一つである。囲碁AIでは相手の応手を推測しつつあらゆる行動をとった場合の勝敗を集計し、最も勝率が高い手の導出を目指す。これをサッカーに応用するため、「得点の期待値が最も高い選択枝を導く」という問題に置き換えている。したがって、囲碁のように行動そのものが失敗しないゲームと異なり、サッカーではパスなどが相手の妨害で失敗する可能性についても推論しなくてはならない。

現在は、この推論にディープNNを使用している。NNでは、与えられた条件下で、過去の経験から行動が妨害される確率がどの程度かを推論する。この手法は、単純な条件分岐などの手法と異なり、理論的には一定時間内に深く、広く探索する(訪問回数が多い)ほど性能が向上する。一方、ロボカップサッカーでは囲碁のように十分に思考する時間はなく、60fpsで常にロボットを制御する必要があり、高速な処理が求められる。そこで、本システムではNNの推論にソニーネットワークコミュニケーションズ製のNNablaを使用し、探索部と合わせすべてC++で実装し、さらに、探索処理の並列化を行い、マルチコアCPUの性能を利用することで高速な処理速度を実現した(図2)。

1.2. 協調動作によるロボットの異常箇所診断

SSLでは、試合中、ロボットの全方向かつ高速移動による車輪の破損や、バッテリー電圧の低下による運動能力の低減などが必ず発生する。そのため、メンバーはロボットを交代させなくてはならない事態の発生に備えて、常にロボットを注視している必要がある。しかし、相手チームのロボットも交えて十数台が高速で移動している中、特定のロボットの破損をすぐに発見することは難しい。そこで、バッテリーの低下に起因したロボットの動作の鈍化や、ある車輪に不具合が起これば特定の方向に移動できなくなる事象を利用して、トラブルの重症化や交代にかかる時間を低減する対策を講じることを検討した。すなわち、トラブルを最小限に減らすための動作確認を考察した。

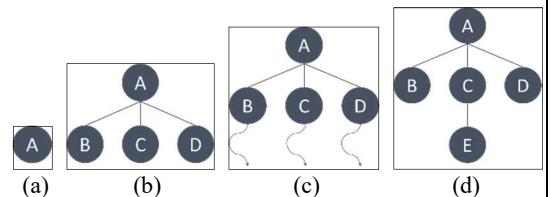


図1 MCTS法の手順 (a)現在状態を表す根ノードの生成, (b)葉ノードの拡張, (c)ランダムなゲームのシミュレーション, (d)葉ノードの拡張

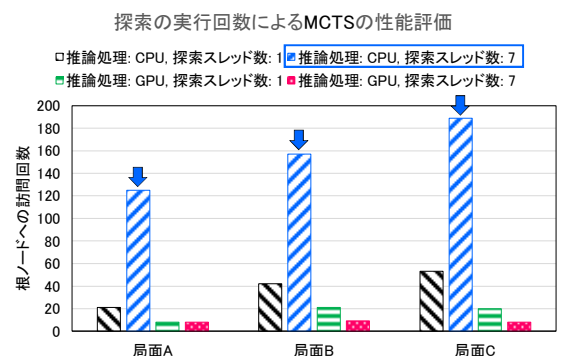


図2 探索の実行回数による MCTS の性能評価

車輪異常の判断のためには、360度全方向に移動できること、また、バッテリー低下の判断のためには、各ロボットを一定間隔に配置し、高速に協調動作できることを確認できればよい。そこで、自転とともに公転を行う、協調動作によるロボットの異常箇所診断システムを導入した。現状、6台までのロボットを一定間隔に保ちながら、円運動のダンスをさせることができる。図 3 に示すように、ロボットに異常が無ければ、ダンスの途中でロボットを追加したり、減らしたりしても衝突しないよう、また滑らかに等間隔の隊列を組むことにより、特定のロボットの異常を客観的に判別できるようになった。今後は、戦略にも応用できるよう、回転しながらボールのパス回しができる協調動作の導入と、出張授業向けに魅せるアーティスティックダンスの開発を予定している。

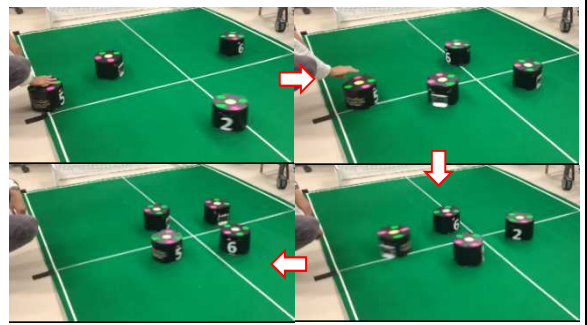


図 3 アーティスティックダンスの様子

2. ハードウェア開発

2.1. 新規回路基板の設計・製作

現在の回路基板は約6年前に作製したもので、経年劣化とともに性能の見劣りがするようになった。例えば、制御に関して、フィールド上空に設置されたカメラからの位置情報を基に、サーバPC経由の指令でロボットを制御させているが、会場での電波の混信やVision-Blackout(グローバルビジョンからの情報が途切れる)のトラブル発生時、従来、ロボットは暴走という事態に陥っていた。また、ロボットの内部処理が、サーバPCを介する処理と比べ高速なため、静止状態にも関わらず位置座標の誤差を反映して微動することがあった。加えて、Vision-Blackoutに対応するためには、ロボット側で取得した情報とサーバPC側の情報を合わせた、双方向の高速通信が必要となるが、従来回路では対応できなかった。そこで、本年、特に制御しやすい回路構成、高速な双方向通信の実現、Vision-Blackoutに対応できる機能の導入を方針に掲げ、新規回路基板の設計・開発に着手した。作製した新規回路を図 4 に示す。メインプロセッサにはJetson Nanoを採用した。本プロセッサの性能は小型PC並で、ロボットにカメラを搭載できるなど機能の拡張性が高い。すでに基板の動作確認を終え、実際の試合にも投入したが、半導体部品の供給が滞っており、2022年2月時点でも全ロボット台数分揃えられていない。

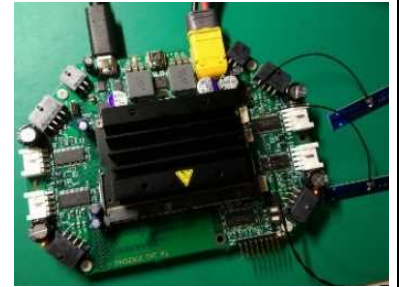


図 4 メイン回路基板

2.2. ドリブル機構の改良

ロボットがボールを保持したまま移動できるようにする前部の回転機構を、ドリブル機構と呼ぶ。昨年は、カーブキックを実現するための角度調整機構を備えたドリブルシステムを提案したが、本年度はボールの保持力に焦点を絞った、よりシンプルなドリブル機構を提案する。開発したドリブル機構を図 5 に示す。このアイデアはロボカップサッカージュニアリーグで使用されている手法を参考にした。特長として、シンプルですぐに実現できること、ボールとの接触を増やすことでボールの跳ね返りが少なくなり、ロボットが自転する際のボール保持力の向上が期待できること、ドリブラーの中心にボールを置くことでキック精度の向上が期待できることなどが挙げられる。



図 5 新ドリブルシステム(分割バー機構)

2.3. ローカルカメラを搭載したビジョンブラックアウトおよび電波障害に対する検討

SSL はロボカップで唯一、フィールド上空に設置した、グローバルカメラ画像を基にサッカーを行うリーグであるが、ボールがレフェリーやロボットの影に入ったり、電波障害によって AI サーバからの指令をロボットが受信できなかったりして、短時間ではあるが、上述の Vision-Blackout が発生することが少なくない。一瞬でもボールやロボットが見えなくなることは、まったく無防備な状態に陥るため、高速な試合展開中では勝敗に直結する深刻な問題である。そこで、この問題に対応するため、ロボット本体にローカルカメラを搭載することで解決を試みた。

図 6 に示すように、機体前方に Raspberry Pi カメラモジュール v2 を取り付け、ロボット前方のボールをカメラで捉えられるようにした。画像を読み込み、フィルタ処理後に、ボールのサイズと重心位置を求め、ボールとの相対距離を算出し、距離に応じた定数を FPGA に送ることでローカルカメラのみでロボットを動作させる実験を試みた。フィールド上にロボットを配置し、オレンジ色ボールをロボットの前で転がし、ローカルカメラのみによる追従性能を検証した。その結果、ボールの位置座標を正しく認識し、図 7 に示すように、ボールの正面にロボットが移動し、捕球できることを確認した。また、ロボットは AI からの指示がある場合はその情報に従って行動し、AI からの指示がない場合はローカルカメラのみの情報で単独で行動できることを示した。

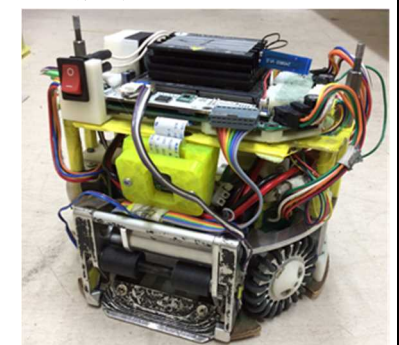


図 6 ローカルカメラを搭載したサッカーロボット

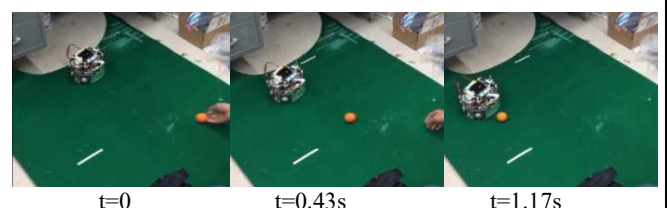


図 7 ローカルカメラのみによるボールの追従性能確認実験

謝辞

本稿で述べた開発・研究の一部は、ちゅうでん教育振興助成のほか、愛知県ロボットチーム強化支援事業および科研費20K03263の補助を受けた。ここに記すと同時に謝意を表す。