

平成 28 年 6 月 9 日現在

機関番号：24403

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24500241

研究課題名(和文)連続状態空間環境におけるロボット行動の評価方法と木構造を用いた連鎖行動探索

研究課題名(英文)Evaluation of robot actions in a continuous state space and planning of action chains using tree structures

研究代表者

中島 智晴(Nakashima, Tomoharu)

大阪府立大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：20326276

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：連続空間におけるロボット環境の行動連鎖に対する行動評価の方法について研究し、効果的な手法の開発を行った。また、複数の行動連鎖を探索するために、行動連鎖を木構造で表現することとし、最適な行動連鎖を効率的に探索するアルゴリズムを開発する。また、チーム戦略を最適化するための指標としてキック分布を提案し、その有効性を示した。

研究成果の概要(英文)：We developed an evaluation method of action chains for robots that are generated in a continuous action space. The proposed method was shown its effectiveness through a series of computational experiments. The best action chains are searched for using a search tree representation. Furthermore, we proposed a strategy representation using kick distribution for optimizing team strategies.

研究分野：機械学習

キーワード：RoboCup エージェント 機械学習

1. 研究開始当初の背景

(1) RoboCup サッカーシミュレーションにおいては、3D リーグにおいて国内では4年連続決勝進出を果たし、強豪チームとしての地位を確立した。2011年のJapanOpen(国内競技会)で優勝、2011年7月にトルコ・イスタンブールで開催された世界大会でも準優勝という結果を収め、知的エージェントを開発する研究基盤が十分に確立されつつある。しかし、RoboCup サッカーシミュレーションでは、敵チームの動的特性における環境モデリングの難しさから、マルコフ過程を十分に保障することができず、単純なゲームでは成立するような数理的理論考察に基づいた意思決定方法とは異なるアプローチが必要である。

(2) RoboCup では、プレーヤやボールの位置や速度、プレーヤのスタミナなど非常に多くの試合情報が利用可能である。一方で、そのような多くの情報量を0.1秒以内に処理する非線形モデリング法はこれまで確立されていなかった。従来の方では、人間の領域知識を基にした手作業によりエージェントの行動を評価していた。図1に、手作業により作成されたヒューリスティックなフィールド評価関数を図示する。そのため、関数近似能力をある程度犠牲にしても処理速度が十分に早い実用的な非線形モデリング手法の開発が急務である。

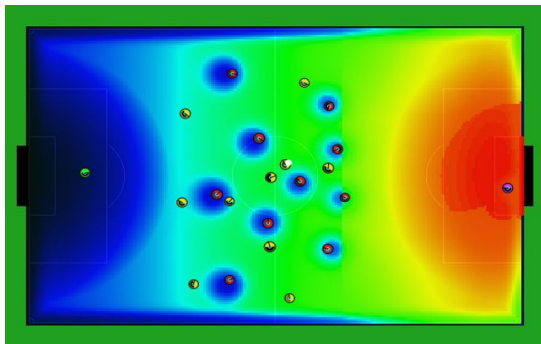


図1 ヒューリスティックな評価の視覚化

(3) 図1に示した評価値は、長年にわたる人間の経験から得られたものである。しかし、チーム分析が高度化している昨今では、敵チームの性質に多様性がみられ、一つの評価値セットだけでは対応が困難になっている。敵チームの性質に合わせた個別の評価値を作る枠組みが必要であり、その作業には人間による経験や勘に基づくものよりも自動化を目指すべきである。

2. 研究の目的

(1) RoboCup サッカーシミュレーションを対象問題として扱い、行動の連鎖を一つのまとまりとして評価するという着想に立ち、連続値空間における行動連鎖の評価方法とその探索法に関する研究を行う。一つの行動連鎖は多数のエージェントによる行動が含まれ

ているため、協調的な行動連鎖となる。行動連鎖の生成法はゲーム木の作成に基づいており、最良優先探索によりもっともよい行動連鎖を生成する。リアルタイムに効果的な行動連鎖が生成されているかどうかを調査する。

(2) 通常非線形モデルを拡張して、名目値属性を持つ入力を許容可能な非線形モデルを開発する。次に、非線形モデルを行動連鎖評価に適用するための研究調査を行う。

(3) ヒューリスティックな手順により決められていたフィールド評価を、機械学習を用いて試合の経験から自動的に評価関数を構成する手法を開発する。

3. 研究の方法

(1) 最適な行動連鎖を探索するためのアルゴリズムを開発する。行動連鎖を木構造としたときに探索量が獲得ゴールに与える影響を調査した予備実験(図2)により、行動木を深さ優先で探索して、探索量を多くすると獲得ゴール数が増える傾向にあることがわかってきた。限られた探索時間内ですできるだけ多くの行動連鎖を評価できる行動表現が必要となる。以下のサブテーマを設定し、研究を進める。

■ Node 10 ◆ Node 100 ▼ Node 500 ▲ Node 1000 ✕ Node 10000

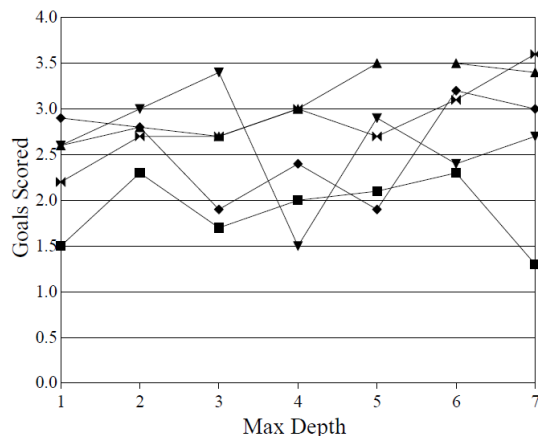


図2 探索量とゴールの関係

(2) 多属性からスカラー値への非線形マッピングモデリングとその意思決定への応用を開発するために、まず、本研究の第一段階として、名目値を伴う多属性入力からスカラー値への非線形モデリング手法の研究開発を行う。非線形写像関数が滑らかで、かつ連続変数だけでなく名目変数も受け入れることのできるモデリング手法を提案することが目標である。理論的、実験的観点から関数の連続性を検証する。次に、非線形モデリング手法を RoboCup サッカーシミュレーションに応用する。多属性入力に用いる項目として、対象とする空間における敵ゴールまでの距離や敵プレーヤとの混雑度、敵ディフェンスラインからの距離、を連続値属性とし、名目的属性として、その場所がシュート可能な領域かといった、ヒューリスティックな指標を

採用する。モデリング手法の有効性を、敵チームの特性（攻撃重視か守備重視か、もしくはドリブル重視かパス重視か、等）に対する評価値分布の変化を考慮しながら検証する。

4. 研究成果

(1) RoboCup におけるチーム分析のための指標として、キック分布を提案し、キック分布を調査することで敵チームのタイプを自動的に分類分けする手法を提案した。キック分布は、試合中にキックされたボールの位置とその移動距離の集合である（図3）。キック分布はチーム戦略を実行した結果であるので、異なるチームが同じ戦略を実行していれば、キック分布が類似することになる。キック分布は重み付位置ベクトルの集合であるため、分布の類似性を調べるための指標として単純な距離関数を使用することができない。そこで、Earth Movers Distance を導入し、Earth Movers Distance が近いキック分布はチーム戦略も似ていると仮定することにした。この仮定が正しいかどうかを調査するために、過去の RoboCup 大会に出場したチームのキック分布を調べ、階層型クラスタリング手法を用いてチームをグループ分けした。グループ分けの結果を精査した結果、チーム戦略が類似したチームがキック分布によりグループ分けで来ていることが確認された。

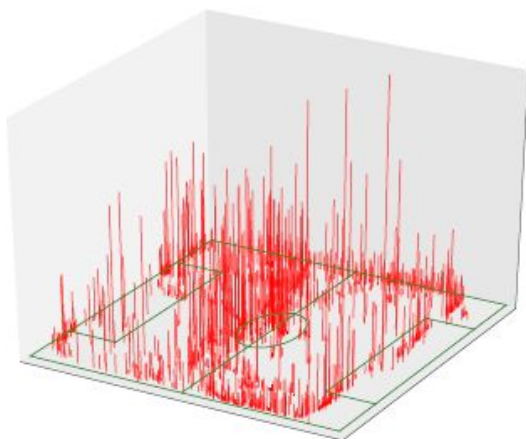


図3 試合中に得られるキック分布の例

(2) キック分布を用いてチーム戦略をグループ分けすることができたため、次に各グループに対する個別の対策を生成する必要がある。これまでのヒューリスティックに頼るフィールド評価値の作成法では、個別のチーム戦略を生成するために人間の作業が必要となり、敵チームのグループ分けが多岐に及ぶ場合には従来手法では実用が困難である。そこで、SIRMs (Single-Input-Rule Modules) ファジィモデルを使ったフィールド評価値生成法を提案した。SIRMs の入力には評価位置とボールの位置、プレーヤの位置・速度であり、状況に応じて SIRMs ファジィモデルがフィールド評価値を出力する。SIRMs ファジィモデルの構築は機械学習における教師あり学

習法を用い、過去の試合の中で成功した行動と成功しなかった行動を蓄積したデータベースを用いてフィールド評価値関数をモデリングした。この目的のために、複素数 SIRMs ファジィモデルを提案し、実行速度に影響を与えずに関数近似能力を向上させることに成功した。

(3) RoboCup サッカーコミュニティにおける技術向上のため、チーム HELIOS がこれまでに獲得した知見や提案した手法の実装をオープンソースとして公開し、インターネット上に公開した。公開したオープンソースウェアには行動連鎖生成アルゴリズムや SIRMs ファジィモデルが含まれており、利用者は必要に応じて最新技術を使用することができる。また、チーム戦略を作成する手助けになるものとしてデバッグツールやフォーマションツールもオープンソースとしてインターネットに公開した。現在このオープンソースはコミュニティ標準であり、特に新規チームやマルチエージェント研究のためのプラットフォームとして RoboCup 関係者のみならずエージェント学習の研究者にも使用されている。

(4) リアルタイムで行動連鎖を生成するための枠組みをアルゴリズム化し、行動連鎖を探索するためのアルゴリズムについて調査を行った。行動連鎖生成はゲーム木に基づくものであり、ゲーム木の根は現在ボールを保持しているプレーヤの状態であり、枝は第一行動の候補となる。第一行動の候補としてパスやドリブルをさまざまなキック角度、パス受け取り地点に対して評価しなければならないが、サッカーフィールドは連続地空間であるため、枝刈りや事前知識による候補縮約を行い、短時間に候補を出力するための工夫を行った。行動連鎖の探索法として最良優先探索や幅優先探索、深さ優先探索、モンテカルロ木探索を取り上げ、それぞれの探索性能について調査した。シミュレーションによる調査の結果、最良優先探索により最も効果的な行動連鎖が生成できることが確認された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔学会発表〕(計15件)

Tomoharu Nakashima, Kick Extraction for Reducing Uncertainty in RoboCup Logs, Human Interface and the Management of Information: Information and Knowledge in Context, 2015年8月5日, Los Angeles (USA)

Tomoharu Nakashima, Strategy Analysis of Soccer Teams from Kick Records, The Twentieth International Symposium on Artificial Life and Robotics, 2015年1月22日, B-Con プラザ (大分県・別府市)

Hirosato Seki, Complex-Valued SIRMs

Connected Fuzzy Inference Model, The 2014 IEEE International Conference on Granular Computing, 2014年10月24日, 登別グランドホテル(北海道・登別市)

Hidehisa Akiyama, HELIOS Base: An Open Source Package for the RoboCup Soccer 2D Simulation, The 17th Annual RoboCup International Symposium, 2013年7月1日, Eindhoven (Netherland)

Hidehisa Akiyama, Team Formation Estimation using Cluster Analysis and Triangulation Model, The 6th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems The 13th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, 2012年11月22日, 神戸コンベンションセンター(兵庫県・神戸市)

Hirosato Seki, Some Consideration of SIRMs Connected Fuzzy Inference Model with Functional Weights, The 4th International Conference on Intelligent Decision Technologies, 2012年5月24日, 長良川国際会議場(岐阜県岐阜市)

[その他]

RoboCup 世界大会 2015 サッカーシミュレーション 2D リーグ 準優勝(チーム HELIOS)

RoboCup 世界大会 2013 サッカーシミュレーション 2D リーグ 準優勝(チーム HELIOS)

RoboCup 世界大会 2012 サッカーシミュレーション 2D リーグ 優勝(チーム HELIOS)

RoboCup JapanOpen 2011 サッカーシミュレーション 2D リーグ 優勝(チーム HELIOS)

6. 研究組織

(1)研究代表者

中島 智晴 (NAKASHIMA, Tomoharu)
大阪府立大学・工学(系)研究科(研究院)・教授
研究者番号: 20326276

(2)研究分担者

秋山 英久 (AKIYAMA, Hidehisa)
福岡大学・工学部・助教
研究者番号: 20533201

関 宏理 (SEKI, Hirosato)
大阪大学・基礎工学研究科・助教
研究者番号: 10583693