ショートノート

RoboCup サッカーにおける 状況評価のリアルタイム化と観戦システムへの応用[†]

鈴木 雄大^{*1}・福島 卓弥^{*1}・中島 智晴^{*1}・秋山 英久^{*2}

本論文では、RoboCup サッカーシミュレーション 2D リーグにおけるリアルタイム状況評価システムとその観戦システムへの応用を述べる。観戦システムは、試合状況に基づき観客の盛り上がり表現することで試合状況の理解を平易にし、観客を楽しませることを目的とする。そのために、*SituationScore* と呼ばれる試合状況の評価値を試合中リアルタイムに推定し、推定した *SituationScore* に基づく視聴覚エフェクトにより試合の盛り上がり表現する。本論文では、深層学習手法による *SituationScore* の推測方法と、*SituationScore* を用いたサッカーモニタの拡張について説明する。

キーワード：サッカーシミュレーション、畳み込みニューラルネットワーク、状況評価、オープンソースソフトウェア

1. はじめに

サッカーと人工知能の異分野融合プロジェクトとして RoboCup サッカーシミュレーション [1] がある。その中でも、サッカーシミュレーション 2D リーグはロボットの知能部分に焦点を当てているリーグで、近年の競技会では人間サッカーと同様に緻密で戦略的な試合が繰り広げられるほどに進歩した。

一方、競技会の参加チーム数は毎年減少傾向にある。特に、新規参加するチームが少なくなることがリーグ全体の課題となっている。新規参加チームを増やすために、参加のためのドキュメンテーションを充実させたり、興味を持っているチームへチュートリアルを実施したりなど、コミュニティとして様々な取り組みが行われている。本研究ではこうした取り組みの一環として、チーム開発の面ではなく、試合そのものを盛り上げ、リーグを魅力的にする工夫に注目する。

観客に向けたエンターテインメント性を向上させるには、観客が試合状況を平易に理解できるような、試合状況に応じたエフェクトが必要である。エフェクトには、視覚的な効果と聴覚的な効果が考えられる。視覚的な効果として、応援時の観客の動きや旗振りなどが挙げられる。聴覚的な効果として、サポータの歓声がある。応援やブーイングなどの非言語的效果は、試合の観客を楽しませることを期待できる。本論文では、サッカーモニタ内の仮想空間のサポータを「仮想サポータ」、サッカーモニタを観戦している実世界の人々を「観客」と定義する。

図 1 Running a game on soccerwindow2

試合状況に応じて、仮想サポータの盛り上がり（歓声）を視覚的、聴覚的效果で表現することで観客に向けた高いエンターテインメント性を実現するシステムの開発を行った。

仮想サポータの盛り上がり（歓声）は本来、感情表現と結びつくもので感性の点から議論をするべきではあるが、本研究では、「得点に近い状況ほど仮想サポータは盛り上がり、得点時に最高となる」と定義して進めていく。得点に近い試合状況であるかどうかを正確に判断するために、中島ら [2] は、フィールド画像から試合状況を定量的に評価するための機械学習手法を提案した。この手法により得られた状況評価値を、仮想サポータの盛り上がり度としてエフェクトで表現する。本論文では、この手法をリアルタイム応用した、試合状況評価システムの仕様と評価値に基づくエフェクトを追加する観戦システムの仕様について述べる。

2. サッカーシミュレーション 2D リーグ

サッカーシミュレーション 2D リーグの試合は計算機内に構築された仮想サッカーフィールド上で行われ、1 試合 6,000 フレーム（1 フレームは 0.1 秒で離散化）で行われる。試合は soccerwindow2（図 1）などのツールを使用することで、リア

[†] Real-Time Situation Evaluation and its Application to a Spectating System for RoboCup Soccer
Yudai SUZUKI, Takuya FUKUSHIMA, Tomoharu NAKASHIMA, and Hidehisa AKIYAMA

^{*1} 大阪府立大学大学院人間社会システム科学研究科
Graduate School of Humanities and Sustainable System Sciences, Osaka Prefecture University

^{*2} 福岡大学工学部電子情報工学科
Department of Electronics Engineering and Computer Science, Fukuoka University

(a) $SituationScore = +65$ (b) $SituationScore = -17$ 図2 Field situations and their $SituationScore$ value

リアルタイム観戦することができる。

本論文では、観戦時に用いられるサッカーモニタに着目し、観客に向けたシステム開発に着目した。現在、競技大会で用いられる公式のサッカーモニタ¹や *soccerwindow2*²は、試合を観戦するためのシンプルなモニタで、サッカーフィールドの状況を画面表示している。*soccerwindow2*には、チーム開発を促進するための多くのデバッグ機能が搭載されており、サッカーチームを開発するプログラマにとっては十分である。しかし、競技会で使用するという観点からは、観客を楽しませるような演出やエフェクトといった、観客が試合観戦を楽しむための機能は十分でなく、改良の余地がある。

3. $SituationScore$ による状況評価

サッカーにおいて、チームの優勢もしくは劣勢を表現するための試合状況を表す方法はなく、間接的な評価指標として、ボールとプレイヤーの位置、フィールドの特定の部分にいるプレイヤー数などを利用していた。一方、中島ら [2] は、簡潔な評価指標である $SituationScore$ を定義した。 $SituationScore$ は次のゴールまでの残り時間（残りサイクル）から算出される。あるサイクルのサッカーフィールドを f で表すと、 f の $SituationScore$ は以下で定義される。

$$SituationScore(f) = \pm(100 - n), \quad (1)$$

ここで、 n は f から次のゴールまでの残りサイクルである。ただし、残りサイクルが 100 を超える場合は 100 となる。よって、 $SituationScore$ の範囲は、 $-100 \leq SituationScore \leq 100$ となる。 $SituationScore$ の符号は、次のゴールを決めるチームによって決定される。次のゴールが左チームによる得点である場合、正の符号が割り当てられ、右チームによる得点である場合、負の符号が割り当てられる。サッカーフィールドを画像で表現する場合の、フィールド画像とそれに対応する $SituationScore$ の例を図 2(a), 2(b) に示す。図 2(a) は左チーム（黄色）が得点する 35 サイクル前、図 2(b) は右チーム（赤色）が得点する 83

図3 Employed CNN architecture

サイクル前のサッカーフィールド状態である。 $SituationScore$ によって、ゴールした場面で取得可能な終了した試合の各フレームに対して、状況評価値を簡潔に付与することができる。本論文では、 $SituationScore$ が高いほど仮想サポーターが盛り上がる設定し、 $SituationScore$ に連動して画面に視聴覚エフェクトを適用する。

4. リアルタイム状況評価システム

4.1 概要

リアルタイム状況評価システムの概要とその仕様について説明する。試合状況の評価にあたって、中島ら [2] は、画像データを扱う CNN モデルを用いた $SituationScore$ がサッカーフィールドを数値情報化して推定するモデルよりも推定精度が高いことを示した。文献 [2] では、学習済みの CNN モデルを使った $SituationScore$ の推定はオフラインで行われていた。リアルタイムで推定モデルを使用するには、試合状況評価を毎サイクル行うためのシステム作りが必要である。本論文では、状況評価モデルをリアルタイムに運用する枠組みを構築する。

本章では、まず、状況評価モデルである CNN モデルについて述べ、次に、モデルの学習に使用されるデータセットについて説明する。さらに、リアルタイムに試合状況の評価するためのシステム仕様を述べる。

4.2 状況評価モデル

3 章で述べた $SituationScore$ を正確にサッカーフィールド状態に割り当てるためには、後に起こるゴールの時刻（サイクル）があらかじめ分かっている必要がある。これは試合終了後には計算することが可能だが、試合中いつゴールするか分からない状況において $SituationScore$ をリアルタイムに求めることはできない。そこで、 $SituationScore$ の値を推定する状況評価モデルを構築する。学習済みの状況評価モデルをリアルタイム観戦システムに応用することにする。

状況評価モデルとして採用した CNN モデルは、TensorFlow ライブラリ [3] を使用し、*soccerwindow2* によって生成された画像を入力とし、各フレームに割り当てられた $SituationScore$ を教師信号として学習する。先行研究 [2] を基に、採用するハイパーパラメータや CNN の構造を決定した (図 3)。160×256 の画像を入力とし、 $SituationScore$ を出力とする。また、過学習を防ぐために確率 15% でドロップアウトを適用する。活性化関数として ReLU を、学習のためのオプティマイザとして Adam アルゴリズム [4] を $\alpha = 0.0001, \beta_1 = 0.9, \beta_2 = 0.999$ で

¹ <https://github.com/rcsoccersim/rcssmonitor>

² <https://osdn.net/projects/rctools/releases/68532>

使用する。また、ミニバッチのサイズは 16 とする。

4.3 状況評価モデルの学習

モデルを学習させるために、異なる 16 チーム間の試合ログから抽出してデータセットを作成した。抽出手順を以下に示す。

Step 1: 試合を実行。

Step 2: *soccerwindow2* により全フレームを保存。

Step 3: ゴールしたサイクルから 100 サイクル前のサッカーフィールドに対して *SituationScore* を付与。

Step 4: *SituationScore* を付与されなかったサイクルのサッカーフィールド情報を削除。

CNN の推定精度を向上させるため、*soccerwindow2* のグラフィックスオプションを以下のように指定して生成される画像を調整した：スコアボード、プレイヤー番号、スタミナ、及びイエローカードの非表示、プレイヤーサイズ = 2.0、ボールサイズ = 1.3 をフレーム保存時にオプションとして指定した。

合計 5,215 試合（約 102 万サイクル分）からデータセットを生成した。このデータセットを次のように 3 分割した：学習用データ（～72 万枚）、検証用データ（～15.6 万枚）、テストデータ（～13.5 万枚）。分割する上で、データに含まれるチームに偏りが生じないように振り分けた。学習用データセットを用いて CNN モデルを構築した。構築された CNN モデルは、テストデータに対する平均絶対誤差が 14.00 であった。

4.4 リアルタイム状況評価

先行研究 [2] では、試合終了後にオフラインで *SituationScore* を算出していた。これは、試合終了後に出力されるログを用いてサッカーフィールド画面をキャプチャしていたためである。そこで、試合中に状況評価を行うために *soccerwindow2* の機能を拡張し、リアルタイムで画面のキャプチャを行うシステムを開発した。試合中に *soccerwindow2* の画面をリアルタイムでキャプチャし、学習済み CNN モデルに入力として与え、そのサッカーフィールドの *SituationScore* を算出する。本システム内部の処理プロセスを以下に示す。

1. *soccerwindow2* がリアルタイムでサッカーフィールド画面をキャプチャして保存。
2. キャプチャ画面が保存されているディレクトリ名を Python サーバに送信。
3. Python サーバが学習済み CNN モデルを使ってサッカーフィールドの状況の評価。

画面キャプチャ時、4.2 節で説明したグラフィカルオプションを加えて保存する。*soccerwindow2* とサーバ間の接続には TCP/IP プロトコルによるソケット通信を用いた。これらのプロセスによって、リアルタイムでの状況評価を実現した。

5. 観戦システムへの応用

エンターテインメント性の向上を目的として、4.4 節で説明したリアルタイム状況評価システムを観戦システムに応用す

図 4 The architecture of the spectator application

図 5 Color visualization of a soccer field (Below “play_on 2846”)

図 6 Gradation of the color visualization according to *SituationScore*

る。観戦システムは、試合状況の評価値に基づいた仮想サポータの盛り上がり度合いを効果音と視覚化によって表現しており、観客の試合状況がより理解しやすくなる。試合状況の評価値として、4.4 節で説明したリアルタイム状況評価システムによって算出された *SituationScore* を用いる。図 4 に、リアルタイム状況評価システムと観戦システム全体の概要を示す。観戦システムにおいて、視覚的なエフェクトとして *SituationScore* のウィンドウ表示、*SituationScore* に従ったウィンドウの背景色の変化を使用し、聴覚的なエフェクトとして、サポータの応援音を用いる。

図 5 に、*soccerwindow2* と PyQt ライブラリを使用して実装した *SituationScore* を表示するウィンドウを示す。このウィンドウの背景色は、図 6 に示すように、*SituationScore* に従って変化する。黄色チームにとって状況が優勢であれば、背景色は

図7 Sound effect

次第に黄色に変わり、赤チームにとって優勢な状況の場合、背景色は徐々に赤色に変わる。

観戦システムで用いる効果音については、フリー音源である Freesound³ を使用した。その中にある現実世界のサッカーにおけるサポーターの歓声を採用した。SituationScore に応じて効果音が変わり、3 種類の効果音がある：通常時の声援（ステレオ）、優勢なチーム側の歓声（モノラル）、両チームの大歓声（ステレオ）。3 種類の効果音の変化点として、2 つの閾値 T_1 , T_2 を定義し、変数の範囲は $0 < T_1 < T_2 < 100$ とする。SituationScore が T_1 以上になると、これは黄色チーム（左チーム）の優勢な状況を意味し、左スピーカーからの音量が上がる。一方、SituationScore が $-T_1$ より小さければ、試合状況が赤チーム（右チーム）に有利であることを意味し、右スピーカーからの音量が上がる。図7に本システムの効果音が発生するスピーカーの様子を示す。

さらに、SituationScore が T_2 よりも大きい、または $-T_2$ よりも小さい場合、音は両チームのサポーターからの大歓声に変わる。各変数は、 $T_1 = 70, T_2 = 90$ に設定した。

本システムは github 上のリポジトリ⁴でソースコードを公開しており、学習済みの CNN モデルも同様に公開している。

デモ、チュートリアル、および具体的な仕様は、YouTube にて動画⁵で解説している。また、日本知能情報ファジィ学会が管理するリンク集 SOFT-CR⁶ にも登録されている。

6. おわりに

本稿では、RoboCup サッカーのエンターテインメント性を向上させることを目的として開発したリアルタイム状況評価システムと観戦システムへの応用について説明した。リアルタイムでの試合状況評価は、SituationScore と機械学習手法によって実現した。また、観戦システムにおける SituationScore に従った視覚効果と効果音は、RoboCup サッカーにエンターテインメント性をもたせ、実際のサッカーのように観客を楽しませることができると期待できる。

参考文献

- [1] H. Kitano, et al.: “RoboCup: A Challenge Problem for AI,” *AI Magazine*, Vol.18, No.1, pp. 73-85, 1997.

3 <https://freesound.org/>

4 https://github.com/rinmunagi/spectator_app

5 https://youtu.be/JL_NgcwFtQI

6 <http://soft-cr.org/>

- [2] T. Nakashima and T. Pomas: “Evaluation of Situation in RoboCup 2D Simulations using Soccer Field Images,” *Proc. of the RoboCup Symposium*, 12 pages, 2018.
- [3] M. Abadi, et al.: *TensorFlow: Large-scale machine learning on heterogeneous systems*, Software available from tensorflow.org, 2015.
- [4] D. P. Kingma and J. Ba: “Adam: A method for stochastic optimization,” *Int. Conf. on Learning Representations*, 2015.

(2019 年 9 月 26 日 受付)

(2019 年 11 月 17 日 採録)

[問い合わせ先]

〒599-8531 大阪府堺市中区学園町 1-1

大阪府立大学

中島 智晴

E-mail: tomoharu.nakashima@kis.osakafu-u.ac.jp

著者紹介

鈴木 雄大 [非会員]

2018 年大阪府立大学現代システム科学域卒業。現在、同大学院人間社会システム科学研究科博士課程前期在学中。RoboCup の研究に従事。2018 年 RoboCup JapanOpen サッカーシミュレーション 2D リーグ優勝。2017 年、2018 年 RoboCup 世界大会サッカーシミュレーション 2D リーグ優勝。2019 年人工知能学会賞受賞。2019 年人工知能学会 SIG-SAI 最優秀プレゼンテーション賞受賞。

福島 卓弥 [非会員]

2017 年大阪府立大学現代システム科学域卒業。2019 年、同大学院人間社会システム科学研究科博士前期課程修了。修士（情報学）。現在、同大学院博士後期課程在学中。RoboCup の研究に従事。2018 年、2019 年 RoboCup 研究賞受賞。2019 年電気学会奨励賞受賞。

中島 智晴 [正会員]

1995 年大阪府立大学工学部卒業。2000 年同大学院博士後期課程修了。博士（工学）。2000 年 4 月大阪府立大学大学院助手。現在、同大学院教授。2004 年度英国ノッティンガム大学客員研究員。機械学習とファジィの融合、RoboCup、ケアサイエンス等の研究に従事。2017～2019 年日本知能情報ファジィ学会理事。2019 年より国際ファジィシステム学会 Secretary。

秋山 英久 [正会員]

2008 年東京工業大学大学院総合理工学研究科知能システム科学専攻博士後期課程修了。2008 年独立行政法人産業技術総合研究所情報技術研究部門特別研究員。2011 年福岡大学工学部助教。現在に至る。博士（工学）。マルチエージェントシステム、マルチロボットシステムの研究に従事。

Real-Time Situation Evaluation and its Application to a Spectating System for RoboCup Soccer

by

Yudai SUZUKI, Takuya FUKUSHIMA, Tomoharu NAKASHIMA, and Hidehisa AKIYAMA**Abstract:**

This paper describes a real-time situation evaluation system for RoboCup Soccer Simulation 2D League and its application to a spectating system. The aim of developing the spectating system is to make the spectator's experience of watching games more entertaining by expressing the excitement of the audience based on the game situation, and making it easy to understand the game situation. For this purpose, the evaluation value of the game situation called *SituationScore* is estimated in real time during the ongoing game, and the excitement of the game is expressed by the audio and visual effects according to the estimated *SituationScore*. How *SituationScore* is obtained using a deep learning method and also how a soccer monitor application is extended with audio and visual effects are explained.

Keywords: soccer simulation, convolutional neural network, situation evaluation, open source software

Contact Address: **Tomoharu NAKASHIMA**

Osaka Prefecture University

1-1 Gakuen-cho, Naka-Ku, Sakai, Osaka 599-8531, Japan

E-mail: tomoharu.nakashima@kis.osakafu-u.ac.jp