

ロボカップサッカーシミュレーション エージェント開発体験キット OZED*

電気通信大学
西野順二

仁愛大学
久保長徳

福井大学
下羅弘樹

大阪府立大学
中島智晴

概要

本論文ではマルチエージェントシステムの標準問題である RoboCup サッカーシミュレーション向けエージェントの開発をルールベースに基づいた簡易な方法で行う OZED システムを提案する。本システムでは直観的に分かりやすい位置に基づくファジィ推論規則と位置概念のファジィ表現を用い、エージェント開発初心者や中高生が利用しやすくすることを目的としている。提案する表現方式の記述能力と ruby を用いた実装の速度について検討した結果を示した。

1 はじめに

本論文で提案する OZED(Open Zeng for Educations) システムは、RoboCup サッカーシミュレーションリーグに適合したサッカーエージェントを、楽しく作成できるようにすることを目標としている。エージェントの作成作業を通じて、マルチエージェント環境におけるエージェントプログラミングの基礎についての教育的効果を与えることが目的である。

RoboCup[1, 2, 3] はサッカーやレスキューなど、現実的な問題を分散ロボットシステムによって解決するタスクを設定した、マルチエージェント協調の標準問題である。サッカーシミュレーションリーグはソフトウェアエージェントによるバーチャルサッカーリーグで、実機ロボットのメンテナンスの必要のないリーグとなっている。

この RoboCup はさまざまな手法を実践的に比較する研究用のプラットフォームであると同時に、演習などでロボットやエージェントを作成する標準教材としても使われている。これらの教材では、使用する技術の高度さと作業量から、これまでは上は大学院生下は工学部学生以上が対象であった。

*“Robocup Soccer simulation-league Agent development system OZED”, Junji Nishino : The University of Electro-Communications, Takenori Kubo: Jinai University, Hiroki Shimora : Fukui University, Tomoharu Nakashima : Osaka Prefecture University

本システムでは作業対象としての RoboCup をそのままに、中高生や趣味でエージェントプログラミングを行いたい非専門家を対象にした教育的な開発システムを目標としている。直観的なファジィルールに基づいた行動則を、より直接的なビジュアル表現と組合せて編集可能なものとし、文字による操作をすることなくエージェントの行動を作成できるようにした。同様なシステムには行動ベースエージェントモデルに基づいた開発システム [4] があるが、設定すべき数値的パラメータ数も多く学部学生程度のエージェントに関する知識が必要である。

以下では、まず提案する OZED システムの概念と、実装の詳細について述べ、エージェント行動の表現能力などについて検討し、不足点への対応の方針を示す。

2 OZED システムの特徴

本論文で提案する OZED システムは、中高生でもサッカーエージェントの作成ができるようにすることを目的とした、統合的なエージェント開発環境である。

このように非専門家を対象としたシステムとして実現するため組み込んだ、新たに提案した機能および方法について述べる。

2.1 協調実験環境の提供

ヘテロジーニアスなマルチエージェント実験システムを作成するには、多数のエージェントを準備しなければならないことが、開発上の負担となる。実際に工数を必要とする。本提案システムではRoboCupヘテロ協調チームOZの概念を継承して、この負担を軽減する。

チームOZ[5, 6]は、サッカーシミュレーションリーグにおいてヘテロジーニアスなエージェントの協調を実験するために行ったプロジェクトである。複数の作者による異なったアーキテクチャのサッカーエージェントを「寄せ集め」てチームを構成しそれらの協調の様相を調べるものである。

サッカーは11体のエージェントで一つのチームとなる。OZEDでは、チーム構成に必要な他のプレイヤーエージェントとして、すべて一人のユーザが準備するのではなく、OZのように他のユーザやシステム供給者が作成したプレイヤーを用いる。これによって、11体すべてを作る必要がなくなり、ユーザは1つのエージェントを集中的に開発、改良すれば良い。サッカーはポジションによる役割分担がよく行われるため、エージェントもポジションごとに作ると分かりやすい。OZEDではユーザが各個人の好みのポジションを選び、そこでの行動を実装したエージェントを選択的に作ることが可能である。

2.2 ルール可視化

OZEDでは2次元フィールド位置にもとづくファジィ命題を用いた行動規則によってエージェントの行動を決定する。フィールド位置にもとづく条件命題は、直観的に物理的な対応が理解しやすく、フィールド図面上でのそのままの表示を可能とする。絶対的な位置のみならず、ボールやプレイヤーなどフィールド上に存在し移動するオブジェクトを基点とした相対表現も容易に図示できる。

この表示特性を利用して、命題や行動規則をビジュアル表示し、キー操作なしにルールを編集をできるようにした。このエディタには、RoboCupエージェントを人間が操作するためのシステムOZRPプロジェクト[7, 8]で開発したOZipにルール機能追加したものを用いる。

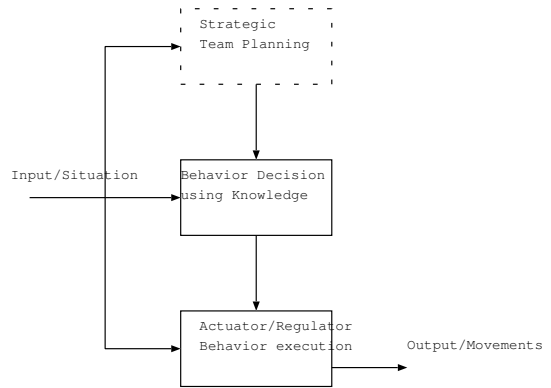


図 2: OZED エージェントモデル

また、時間の遷移にともなう状態変化と連動して、ある時点で適用される規則や適合度の高い規則群を表示することで、ルール発火の様子をダイナミックに観測し、ルール群の挙動を理解しながら調整に役立てることができる。これにより行動の理由を発火したルールにもとめながら調整することが可能である。

3 OZED システムの詳細

3.1 全体構成

全体構成を図1に示す。

OZEDシステムは、行動エージェントとルールエディタの二つの部分から構成される。エージェントは実装上、ルールエンジン、ルール、ベースの三つからなり、それぞれ、このへんファジィ推論システム、サンプルルール群、ruby/soccerである。ルールエディタは、行動ルールとそこで使われるファジィ命題をビジュアルに編集できる機能を持ったユーザインタフェースであり、OZipEDと呼ぶことにする。

3.2 サッカーエージェントの意志決定モデル

本システムで提供するサッカーエージェントは、図2に示した典型的な階層型の意志決定モデルを採用している。

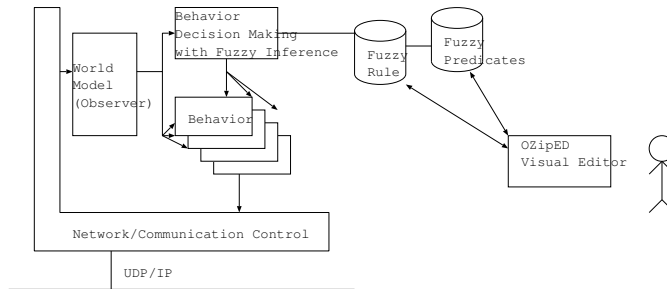


図 1: OZED システム構成

開発キットとして、状況認識機構と、制御階層の最下層にあたる各種行動をライブラリとして提供する。本システムの実装では構築が複雑となる、再上層のチーム全体とも関わる戦略決定部は扱わないものとした。

中層部の行動決定部をファジィ推論によって実装し、ユーザはこの行動規則を構築・編集して意図するエージェント行動を実現する。エージェント行動を作成する上で、ルールベースでの設計は負担が少ない。

このプレイヤー本体は ruby で記述されており、実装上は、OZED プレイヤーーチンは以下のループで動作する。

1. サッカーサーバと通信 (ruby/soccer)
2. 状態認識結果のベクトル化 (ruby/soccer)
3. 認識結果から行動選択 (ファジィ推論)
4. 選択行動の行動 (ruby/soccer)
5. 1へ戻る

行動を決定する意志決定部分のファジィルール以外は、一般的なサッカーエージェントの様式に従っている。

3.3 ビジュアルエディタ OZipED

OZipED は、OZip システムに端を発するルールエディタ兼エージェント操作インタフェースである。OZip システムは、OZ プロジェクトの一つである OZ-RP システム [9] の実装として作成された人間用のエージェント操作システムで、人間バ

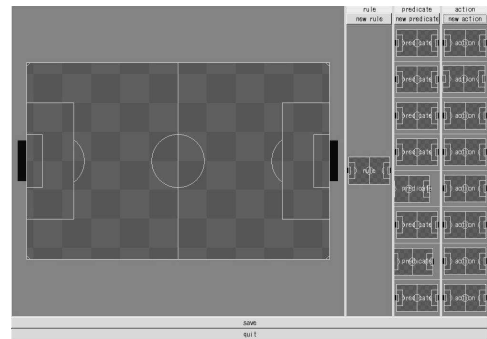


図 3: ビジュアルルールエディタ OZipED

イロットがリアルタイム環境下で RoboCup サッカーシミュレーションサーバに接続して行動するためのインタフェースである。この OZ-RP とは人間が視野などが制限されたバーチャルなマルチエージェント空間において取る協調的行動を記録し、分析することを目的としたプロジェクト名及びそのシステム名である。

OZED では、ルールベースで単体のエージェントを動かし、知的制御の手法であるルール記述のしくみや設計法に親しむことを目指しているが、その前段階として OZip を用いて、ユーザ自身がバーチャル環境下でエージェントを直接操作することでヒューリスティックを認識し、ルールとの関係を知ることができるようにしている。OZipED はこの OZip とルールベースの結果表示機能と編集機能を統合した、ユーザインタフェースである。動作のスナップショットを図 3 に示す。

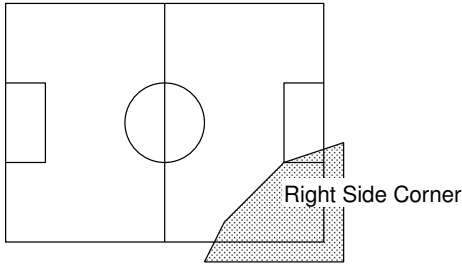


図 4: 右コーナーを表すファジィ領域

3.4 このへんファジィ推論システム

本システムで提案する行動規則では、位置に基づいたあいまいな概念を表現する命題と推論システムとして、2次元上のファジィ集合を用いたファジィ推論を用いる。

ファジィ推論による意志決定は、並列に列記されたルール群からなる推論方式であり、ルールの条件部には状態を変数とするファジィ命題を用いる。本システムでは「右サイド」「ゴール前」「自分の近く」など、サッカーフィールド上の物理的な位置の曖昧な領域をファジィ集合で表現し、「ゴール前ならシュートする」と言った直観的な行動規則を扱えるようにしている。

2次元上のファジィ集合を用いることにより、ある対象物Aの位置が $p=(x,y)$ の座標で与えられるとき、位置を表す2次元上のファジィ集合Gに対して、 $\mu_G(p)$ と単一の演算で表すことができる。従来のファジィ推論で用いられてきた手法では、条件部のファジィ集合として1次元上の集合の直積を用いていた。このため2次元上で見ると長方形領域のみしか表現できず、くの字形など凹凸のある領域は複数の長方形ファジィ領域の和として表現せざるおえなかった。本提案手法では「このあたり」という曖昧な2次元領域をそのまま2次元上の単一のファジィ集合により図上で指定できる。このため、より直観にあった位置条件命題の設定を可能としている。例として「右コーナー」を表す曖昧な領域を図4に示す。

ルールにもとづく推論と行動決定は以下の手順で行う。まず、m個のルールセット $R_i, i=0 \sim m$

を

$$R_i : \text{if } (s \text{ is } A_i^1) \cdot (s \text{ is } A_i^2) \cdot \dots \text{ then Do } ACT_i \quad (1)$$

と表す。ここで、sはフィールドの状態を表す46次元ベクトル、 A_i^j はフィールド上の曖昧な領域を表すファジィ命題である。

推論の結果には、最も適合度の高い規則 R_i を発火規則とし、その行動を採用する。ルールの適合度 e_i は、条件部のファジィ命題の値とし、次の式で求める。

$$e_i = \min(\mu_{A_i^j}(s)), \text{ for all } j \quad (2)$$

ここで $\mu_{A_i^j}(s)$ は、条件部のファジィ命題 A_i^j を表すファジィ集合のメンバーシップ関数であり状態s中のオブジェクトの位置が、 A_i^j の領域に含まれる度合を示す。

適合度が最も高い規則が複数ある場合には、あらかじめ決められた競合解消規則によって一つが選択される。基本の解消規則として登録ルール順を採用している。

出力は次に述べる ruby/soccer で定義された基礎動作へのシンボルである。先に述べたエージェントモデル中で ruby/soccer がのライブラリが起動し、実際の行動が実行される。

3.5 ruby/soccer ライブラリ

バーチャルサッカーエージェントに必要な、状態認識、基礎動作やネットワーク通信機能などは、rubyを用いて作成され、エージェントライブラリを構成している。

ruby/soccer ライブラリが提供する機能は以下の通りである。

- ネットワーク通信機能: RoboCup サッカーサーバとの接続および通信を行う。サッカーサーバはUDP/IP上のテキストベース独自プロトコルを持つため、本通信機能部では、通信の同期、バッファ管理、プロトコルパスを行う。
- 状態認識: 各エージェントが持つ状態オブザーバである。バーチャルフィールド上では、視野角、認識可能距離、サンプリング間隔など

の制限がエージェントに課されている。また、各バーチャルサッカーエージェントがフィールド上で検知する環境情報は、サッカーサーバから独自プロトコルで送付される。本認識部では、プロトコルのデコードを行い、また時間的かつ空間的に補完・予測をする。本システムでは、シミュレーションステップ (0.1 秒) 単位で、各オブジェクトの位置を合わせた 46 次元ベクトルで出力を行う。

- 基礎動作ライブラリ：ドリブルやボールキープなどの単一目的で複合運動となる動作を実装したライブラリである。サッカーサーバが受け付けるエージェントの運動は、ダッシュ、キック、ターンと言った物理的にプリミティブなものだけである。ある地点へのドリブルはボールキックと移動の運動を交互に繰り返した複合運動であり、認識、スタミナ管理及びタイミング制御も含めた高次の実装が必要であり、行動マクロとして基礎動作ライブラリで提供する。

OZED で提供する基礎動作は次の通りである。

- GoTo-Ball: ボールを発見しその方向へ走る。
- KickTo-Goal: ゴールの方向へキックを行う。(シュート)
- KickTo-teammate: チームメイトを発見しその方向へキックをする。
- Clear: ボールに近付き直近の空いたサイドライン側へボールをキックする。
- Keep: 直近の相手プレイヤーと反対の側へボールを小さくキックし移動しつづける。
- FaceTo-Ball: ボールを発見しその方向を向く。
- Positioning: 設定されたゾーンに戻る。
- Intercept: バスの中間に入りボールを取る。
- GoTo(x): フィールド上の点 x へ走る。
- KickTo(x): フィールド上の点 x へキックする。

例えば GoTo-Ball が指定されたときは、ボールの位置と自身の位置を認識し移動方向のベクトル

を算出した上で、方向のずれと距離とスタミナに応じて、ターンとダッシュを繰り返す。このように各基礎動作ごとに構成され、ruby/soccer 内では ruby 及び c++ を用いて実装されている。

3.6 サンプルルール群

プログラミングやシステムの構築技能の習得では、良質で豊富なサンプルに触れることが教育的効果を高める。OZED ではサンプルルールを組み入れ、できるだけ段階を追ってルール構築の仕組みを理解できるようにしている。

提供を予定する基礎的なルール群は以下の通りである。

- ランニング練習/単体エージェントがフィールドを回る
- ドリブル練習/ボールをドリブルしながらフィールドを回る
- シュート練習/ボールを発見しゴールへシュートする
- ゾーンパス/ポジション近くでボールを発見すると味方へパスする
- ディフェンス/相手がボールを持っていると取りに行き前にパスする
- フォワード/フォワードの動き、パスをもらおうとシュートする
- ミッドフィルダー/ミッドフィルダーの動き、パスを貰うと前にパスする

3.7 パッケージ

ユーザが構築したサッカーエージェントを試用するためには、自身のエージェント以外に、周辺環境を整える必要がある。最小構成では、サッカーサーバ、チームメイト、対戦相手、モニターが必要となる。サッカーサーバなどは教育研究目的でソース形式で公開されている。研究開発環境として RoboCup サッカーシミュレーションを用いる大学生・大学院生であれば、これらをソースから構築することも可能であるがその負担は多い。本

システムが対象とする入門的なレベルの中高生では解決が困難である。

そこでこれらを簡単に使用できるように単一のパッケージに組み入れることとした。

主な対象として第一に学校など一定の設備が整った環境を想定している。さらには各家庭においての独習や余暇的な利用も視野に入れ、98年ころ以降のPentiumII程度の計算機での動作を目指している。このため、パッケージの種類として1CD-OSを同梱することを計画している。想定するアーキテクチャは以下の通り。

- UNIX系/X11
- MacOSX
- Windows 98以降

現在は、UNIX(FreeBSD, Gentoo Linux), MacOS 10.4, WindowsXPで、開発および実験を行っている。

OZEDシステムおよびエージェントはruby/tkのスク립トと、gtk+またはqtを用いたグラフィック環境で動作し、想定するプラットフォームでの利用が可能である。RoboCupサッカーサーバシステムは、それぞれの環境ごとに移植されたバイナリが配布されており、それらを用いることで動作可能である。旧式機器での性能不足については、シミュレーションサーバの時間解像度の調整などで対応予定である。

3.8 サポートウェブ

サッカーエージェントを構築する動機付けを強めるため、OZEDのウェブを公開し、そこで相互にプレイヤーの交換や情報交換をできるようにしている。

このためのサポートウェブを利用する。本ウェブで提供するサービスは以下のとおり。

- システムの配布
- マニュアル
- チュートリアル
- サンプルの配布

- ユーザエージェントの収集と再配布
- ランキングシステム

本システム、マニュアル、チュートリアル、サンプルの配布については、ウェブからの一方向性のサービスである。ユーザエージェントの収集と再配布は、OZEDのユーザが作成した新規のエージェントの行動規則を集め再配布し、他のユーザが自由に使用できるようにするものである。これによって、互いに離れた環境でも相互にプレイヤーの交換を行い、試合を行うことができる。サポートウェブへのプレイヤーのアップロード及びダウンロードは、OZEDのユーザインタフェース部に<アップロード>ボタン等を設けて、ワンクリックで行えるようにする。これは対象ユーザは中高生や初学者を想定しているためである。

こうしたユーザ自身によるサンプル交換によって、より良い行動、より強い行動を行うエージェントを構築する動機付けを強めることを期待している。

4 システムの評価と考察

OZEDで提案する位置に基づいたエージェント行動則の記述能力と、rubyによる実装と速度について、その得失について検討し記述能力のいくつかの不足点についての改良策を検討する。

4.1 行動則の記述力

本システムが提案するファジィ推論による行動規則では、条件部としてサッカーフィールド上の自分を含めたオブジェクトの位置関係を取る。この方式は、サッカーはプレイヤー相互の位置に基づきフォーメーションや試合のシナリオが作られ、また制御されていることを考慮している。実際サッカーの状況を表現すると、フィールド上のオブジェクトの位置でしか表される。提案法の位置によるファジィ推論では、これらの位置関係の類別をファジィ集合による分割で行っているとみなすことができる。対象とする状態空間はプレイヤー数22とボール1の2次元座標全体であるから、46次元のベクトルとなる。提案した2次元のファジィ集合

一つによって一つの領域を代表する。1 ファジィルールについて少なくとも1つのファジィ集合による領域が分割されていることになり、ルール数を N とすれば、分岐末端数 N の決定木による意思決定と同等と言える。

本システムで表現できない行動規則としては、記憶を用いた行動がある。位置のみに基づく行動決定では、同じ状態に類別される時、同じ行動を取るため単調な行動になる。記憶を用いた行動とは、前述の行動の単調さを回避するため、自己の行動の記憶を持ち、同じ状況が2回現れたときにそれぞれ別の行動を選択するものである。本システムでは適合度が最大の規則一つを選択するが、これを重み付き確率選択にすることにより、記憶に基づいた行動のように同じ状況で異なる行動を取らせることができる。

その他の規範で記憶に応じて行動する場合には、行動学習の問題となり、本システムの適用目的の範囲外である。

位置に関してだけの規則の中では、より複雑な概念の表現には制限がある。たとえば「自分よりゴールに近く敵に囲まれて居ない仲間のうち一番遠い距離にいるプレイヤーへパスする」という行動判断では、「一番遠い」という距離に関する算術比較が必要である。本システムで提供する位置に関する概念は、単一のオブジェクトとフィールドの関係であり、3つ以上のオブジェクトの状態関係すなわち距離の比較と、それによるオブジェクトの選択は直接表現できない。このような場合「距離が遠いところへパス」としたいときの規則の意味を幾つかの状況下を仮定して「有効なパス」と置き換え、それぞれ書き下すことで対応する。実用上は、パスの相手は2名程度であることと、パスをする可能性の高いポジションA,Bがあることを仮定して、二つの同等な「ポジションAに居る仲間が囲まれて居ないならAにパス」「ポジションBに居る仲間が囲まれて居ないならBにパス」を併記し、上位順に選択するものとする。これによって自身の位置によって距離の遠さは変化し必ずしも遠い方では無いが、Aへのパスがより有効であれば規則設定の趣旨は実現可能である。

4.2 実行速度の検討

エージェント全体がrubyで作られているため、実行速度は速くはなく、場面によっては推論速度が問題となる。サッカーサーバのシミュレーションステップは100ミリ秒単位である。このため、自作サッカーエージェントを用いて試合を行うとき、一回の行動決定ステップが通信を含めて100ミリ秒未満に収まるかどうかの評価の閾値である。また、サッカーサーバやモニタ、チームメイト、相手チームエージェントを同時に稼働させると最大で23プロセスとなるため、1エージェントあたり4.3ミリ秒が目安となる。

rubyによるファジィ推論全体での1ステップ分の演算時間は、201.1ミリ秒であり、このうちファジィ集合に関する部分の計算量を除いた、ルールの処理や通信処理などは0.88ミリ秒であった。演算時間のほとんどをファジィ集合処理が消費しているため、この部分の高速化が必須である。演算をテーブルルックアップ化する方式および、C言語による実装と呼び出しに置き換える方式を検討中である。

OZipED エディタはC++/Gtk+で開発された十分な応答である。また、エディタ作業場面は、エージェント実行ほど時間制約が厳しくなく、多少の応答遅れがあっても使用上の不都合はほとんど無い。

5 おわりに

本稿では、RoboCupサッカーシミュレーションに負担無く参加するための、エージェント開発環境OZEDシステムを提案し、その実装方法を述べ、記述能力と速度性能の検討を行った。

提案システムで実装した位置に基づいたファジィ命題の使用は、ユーザが直観的に行動の意味を理解し開発を進める助けとなる。エージェントの行動決定はルールベースによって行われ、ビジュアルエディタを用いて実際の行動での発火状態を確認しながらの調整が可能である。実験対戦の相手チームや、自チームのチームメイトなどをパッケージとして組み込んだマルチエージェントシステムを学習するための統合環境である。

内部のエージェントシステム本体はRubyベースで作られているため、これらをライブラリとし

て用いることで、オブジェクト指向エージェント開発にまで立ち入ることができる。

提案したルール表現によって可能な行動は、ルール数に応じた静的な状態分割による決定木に近く、ルールの記述能力も高いことを示した。

今後は公開と高速化をすすめて利用者のフィードバックを元に、本システムのエージェント構築の教育的効果を検討することが課題である。

なお、本システムの開発は、独立行政法人情報処理推進機構 (IPA) より、2005 年度上期未踏ソフトウェア創造事業の支援により行われたものである。

参考文献

- [1] Daniel Nardi, editor. *Robocup 2004 : Robot Soccer World Cup VIII*. LNCS. Springer, 2004.
- [2] Daniel Polani, B. Browning, A. Bonarini, and K. Yoshida, editors. *Robocup 2003 : Robot Soccer World Cup VII*. LNCS. Springer, 2004.
- [3] 松原仁, 沼田寛, and 竹内郁雄. **ロボットの情報学 2050年ワールドカップ、人間に勝つ!?** NTT 出版, 2001.
- [4] Paul Scerri S. Coradeschi A. Toerne. *RoboCup-98: Robot Soccer World Cup II*, chapter A User Oriented System for Developing Behavior Based Agents, pages 173–186. Springer, 1999.
- [5] J. Nishino, T. Morishita, and T. Kubo and. *RoboCup 2000: Robot Soccer World Cup IV*, chapter Open Zeng: An Open style distributed semi-cooperative Team development project from Japan, pages 473–476. Springer, 2001.
- [6] 西野順二, 森下卓哉, 木下修平, 鈴木隆志, et al. シミュレーションドリームチーム oz の挑戦. In

AIチャレンジ研究会第9回資料, pages 16–19. 人工知能学会, 2000.

- [7] 与田 慎也 and 西野 順二. バーチャルサッカーで人工プレイヤーと協働する人間ミッドフィルダーの行動. In *人工知能基礎論研究会資料 SIG-FAI-A303*, pages 39–44, 2004.
- [8] 秋田純一, 西野順二, 久保長徳, 下羅弘樹, and 藤埴到. Robocup シミュレーションリーグ人間参戦システム oz-rp の提案. In *AIチャレンジ研究会第12回資料*, pages 23–28. 人工知能学会, 2001.
- [9] 西野順二. ドリームチーム oz と人間チーム oz-rp の挑戦. *日本ロボット学会誌*, 20(1):39–40, 2002.

問い合わせ先:

〒182 8585

調布市調布ヶ丘1 5 1

電気通信大学 システム工学科

西野順二

nishino@se.uec.ac.jp

TEL/FAX: 0424-43-5578