

かけ声によるチームプレイの実現 — RoboCup シミュレーションにおける協調動作の考察

中山康二 竹内郁雄

電気通信大学大学院電気通信学研究科情報工学専攻

E-mail: koji@takopen.cs.uec.ac.jp, nue@nue.org

概要

RoboCup サッカーにおいて、エージェント間の協調動作をどのように実現するかは大きな問題である。本研究では、実際のサッカーにおいて人間がとるようなかけ声やアイコンタクトに着目し、これをエージェント間の通信に用いることによって協調動作を実現することを図った。これは多くのチームが大量の数値・記号情報を用いて、協調動作を実現しているのに比べてはるかに人間に近い手法である。本手法によって、エージェント間の通信量を最小限に押えながら協調動作を実現することができた。本手法で作成したチームは、28 チームが参加した Japan Open 2001 において優勝し、世界のトップチームと互角の実力を有するに至った。

Team play by shouts — Cooperation in a RoboCup team

Koji NAKAYAMA Ikuo TAKEUCHI

Graduate School of Electro-Communications, The University of Electro-Communications

E-mail: koji@takopen.cs.uec.ac.jp, nue@nue.org

Abstract

In the RoboCup Soccer Simulation, it is one of the most difficult problems how to realize cooperative actions among agents. We tried to realize agent cooperation by very short messages inspired by human player's shout and eye contact. This method is more human-like than those which conveys large amount of numerical and/or symbolic information such as absolute coordinates and elaborate plan sequence. By using very short messages like shouts for inter-agent communication, efficient cooperative actions can be achieved. In fact, our team based upon this method won in Japan Open 2001.

はじめに

実時間分散協調問題のよい研究プラットフォームとして国際的に採用されている RoboCup サッカーにおいて、エージェント間の協調動作をどのように実現するかは大きな問題である。現在ふつうに使われているのはエージェント間の明示的な通信によって協調のための合意を形成する方法である。実際、人間がおこなうサッカーにおいても選手の間でなんらかの形のコミュニケーションを成立させて協調をおこなうのがふつうである。

しかし、現状の RoboCup サッカーでのエージェント間通信は、実際のサッカーでおこなわれている選手間コミュニケーションと、質も量も大きく異なっている。RoboCup サッカーでは、多くの場合、大量の数値情報や記号情報がやりとりされるのに対し、実際のサッカーでは、かけ声というはるかに短いメッセージや、一瞬のアイコンタクトなどでコミュニケーションを成立させている。

本論文は、この点に着目し、人間と似た短いメッセージだけで有効な協調動作を実現できるかどうかを試みた研究に関するものである。

1 RoboCup サッカー

RoboCup[1] (Robot World Cup Initiative) はグラウンドチャレンジ [2] の1つのテーマとして、AI (シミュレータ部門) とロボティクス (実機部門) の両面から自律的なロボットの実現を目指して国際的な研究を推進するためのプロジェクトである。現在サッカー (RoboCup サッカー) とレスキューの2つの標準問題がある。以降、シミュレータ部門と実機部門という用語を RoboCup サッカーに対して用いる。

シミュレータ部門はサッカーをシミュレーションすることで、実機部門のロボットの AI 部分の研究を独立しておこなうことと、マルチエージェントシステム [3] の標準問題たるべきことの2つの目的を持つ。シミュレータ部門のサッカーシミュレーションは、サッカーサーバとサッカークライ

アントの2種類のシミュレータを使用する。環境のシミュレータであるサッカーサーバに、エージェントのシミュレータであるサッカークライアント2チーム分22個をUDP/IPでネットワーク接続する。サッカーサーバとサッカークライアントの間で、視覚情報や聴覚情報などのセンサ情報と、前進、方向転回、キックなどの動作コマンドをやりとりすることで、サッカーサーバ内に用意された仮想競技場でサッカーをおこなう。

サッカーサーバは RoboCup の公式シミュレータであり、実機部門のロボットの進化の反映と、マルチエージェントシステムの標準問題としての洗練のために、メーリングリストでの議論を経て仕様の変更がおこなわれている。シミュレータ部門では、サッカーサーバに対応したサッカークライアントを開発し、実機部門のロボットの AI 部分の研究、またはマルチエージェントシステムの研究をおこなう。本論文ではサッカーサーバと環境、サッカークライアントとエージェントという用語を同じ意味で用いる。1995年に開始された RoboCup サッカープロジェクトは、1997年より毎年一度、研究評価のための国際的な競技会を開催しており、1つの競技会の終了後、次の競技会までの1年間が1つの研究サイクル (年度) となる。

2 エージェントの内部処理

エージェントは大きく分けて、ワールドモデリング、プランニング、スキルの3つの処理と、ワールドモデルと呼ばれるデータ構造を持つ。ワールドモデルはエージェントが持つ環境の認識であり、ボールやプレイヤーの位置や速度などの情報の総体である。ワールドモデリングは、サッカーサーバから与えられる (誤差を含んだ) センサ情報からワールドモデルを構築する処理と、環境の変化にあわせてワールドモデルを更新する処理からなる。プランニングはワールドモデルから現在の戦術的状况を把握し、その状況で採るべき行動のためのスキルを選択する。スキルはある行動を達成する

ために最適な動作コマンドまたは動作コマンド列を決定する。エージェント間の通信はサーバを介したものに限って許されている¹。

3 エージェント間の通信

現在の RoboCup のルールでは、通信したいエージェントが通信内容を引数とした say コマンドをサーバに発行する。サーバはそのエージェントから周囲 50m のエージェントに敵味方の区別なく hear コマンドを送信する。hear コマンドには、say コマンドの引数として与えられた通信内容と、どの方向から聞こえたものかが含まれている。say コマンドで一度に送れるメッセージは 512 文字未満のアスキー文字列で、数字、アルファベットと記号“().+*/<>?_” から構成されなければならない [4]。

しかしながら、「メッセージは 512 文字未満」という緩い制限と 50m 先の相手にもほぼ確実にメッセージを送ることができるという仕様により、ワールドモデルの共有に役立つフィールド上の絶対座標値などの詳細な数値情報や記号情報を通信できてしまう。そのような通信の一例として、以下に現在の世界のトップチームのメッセージ通信の内容を示す。

CMUnited99 (RoboCup 99 Champion)

```
(say r 10      512 1      512 11
-2 0.95 6      1 0.95 -1.47891
0.51469 20 1 0.99 -48 1 20
2 0.99 -15 -4 145 3 0.99 -6
14 33 4 0.99 -12 -4 145 5
0.91 -5 -18 25 6 0.99 4 14
25 7 0.99 11 -4 20 8 0.81
8 -16 20 9 0.93 19 8 0 10
1.00 11 -2 6 11 0.94 15 -10
0.94 50 -1 0.99 -6 18 0.99
-10 -1 0.91 -6 -22 0.96 13 17
0.99 1 -1 0.94 23 -5 0.81
12 -21 0.93 25 15 0.94 22 -4
0.89 26 -17 * 3 0 1 0 0)
```

¹実際には各々のエージェントは独立したプロセスで動いているので、プロセス間通信や TCP/IP による通信が可能である。しかし、このようなサーバを介さない通信は RoboCup の理念に反するため、紳士協定によってしてはならないことになっている。

FC Portugal (RoboCup 2000 Champion)

```
(say FCPortugal sYk 562 world_status
r 5 1.00 7.18 -9.36 1 0.91 29.72
19.48 1 0.60 0.00 0.00 11 11 OFM51
0d.- f1Eug 3.q- uWxMo 2l.- .8myqs
2t.- .PXEpW 3F.- .f9s5y 2x.- .v9rdW
33.- /9HvqR 37.- /PA96S 33.- /f9pNb
2t.- /tgBJN 27.- 0wvrY 1l.- eP/9C
2Z.- uf45o 2p.- .810ou 2V.- .P1hOM
2h.- .f9oLj 32w/ .vA6Lw 2x.- /7ngp/
2N.- /P270/ 2p.- /fABrM 33.- /tg8It
27.- 0 40.0 0.0 0 5 )
```

CMUnited99 (カーネギーメロン大) とこれをベースとしている FC Portugal (University of Porto/University of Aveiro) はこのようなメッセージのやりとりによって、ワールドモデルの共有をおこない、協調動作の実現を図っている [5][6]。

このような詳細な数値情報や記号情報を大量に用いた通信は、2050 年にヒューマノイドロボットと人間を対戦させようという RoboCup の理念に照らすと、人間に対してアンフェアであり、RoboCup の目的に則していないと言える。say コマンドにおいて詳細な数値情報や記号情報を大量に用いずに数バイト程度の通信量に制限したうえで協調動作を実現することが本来の不完全情報下での分散協調問題であると我々は考える。

4 かけ声

実際のサッカーの試合中の選手間のコミュニケーションでは、前述のような具体的な数値を用いたコミュニケーションはなされていない。実際のサッカーにおいては、選手間のコミュニケーションはかけ声やアイコンタクトといった必要最小限の方法が使われている。これは、リアルタイムに状況が変化し、判断の速さが重要なサッカーのようなスポーツにおいては選手間のコミュニケーションの効率が重要であることを示している。例えば「上げる」というかけ声は「ディフェンスラインを押し上げる」という意味で用いられる。ここで、「ディフェンスラインを押し上げる」と具体的に言わないのは、人間が一瞬のうちに理解できる言葉の長さが一言二言程度であるためである。こうしない

と、声をかけられた選手はすぐに理解して行動を起こすことができない。重要なのは、人間が余計な言葉を付加せずとも、一言二言程度の言葉でも戦術的に十分なコミュニケーションを図ることができるということである。

本研究では、実際のサッカーにおけるかけ声に相当するものをエージェント間の通信に用い、エージェント間の協調動作を実現することを試みる。かけ声自体は数バイトのアスキー文字列で表すことができるため、エージェント間の通信に適用することが可能である。しかし、かけ声をエージェント間の通信に用いることにより、フィールド上の絶対座標のような詳細な数値情報を大量に付加することができなくなる。このような制限のもとで協調動作の実現を可能にすることは、RoboCupというプラットフォームにおいて挑戦的な課題である。

本研究の目的は、必要最小限の情報量を持つかけ声による通信によって協調動作を実現し、その有効性を確認することである。

5 かけ声によるチームプレイ

かけ声をかけることの本質は、現在の自分、あるいは声をかける相手の戦術的状況を瞬時に伝え、声をかけた相手の戦術的判断や行動の選択にヒントを与えることである。判断や行動の選択を強制するものではない。また、短くなければならないことにより、伝えられる戦術的状況は、チームメイト同士に共通の理解がある、高度に抽象化された概念でなければならない。

かけ声は高度に抽象化されているので、かけ声をかけるほうも、かけ声を受けるほうも、その場での具体的な状況にかけ声の意味を繋げるためには、自分自身も持っているワールドモデルや、チーム全体が共通にもつべき戦略プラン(たとえば、リードした終盤なので、守りに主体をおくなど)を参照しなければならない。だから、かけ声のみによる協調動作をおこなうには、大量情報通信が可能

な場合より、個々のエージェントの知能を高いレベルにする必要がある。

実際のサッカーで交されるかけ声の種類はそれほど多くない。チームメイト同士の共通の理解を培うためには、条件反射的なチームワークを育てる、かけ声と同時に身体を動かすような長い練習を必要とするからである。よいかけ声のレパートリーをもっているチームほど強いというのは経験的な事実である。実際のサッカーで使われるかけ声の典型例を表1に示す。「チョン」のように、現在のシミュレーション部門では意味のないものもあるが、これらがすべてエージェントのかけ声として実現できれば、きわめて人間的なサッカーをしていると言えよう。

表 1: サッカーで使われる主なかけ声

ヨコセ	自分にパスを出せ
ショツテル	背後に相手が迫っている
フリー	相手が近くにいる ゆっくりボールをコントロールして、 余裕のある最適の行動選択をしる。
ハタケ	一度(横に)短くパスをして、相手をかわせ
ワンツ	一度(横に)短くパスをして、 前に走れ、そこへ再度パスするから
シュート	迷わず、シュートしろ
アゲロ	守備ラインを押し上げる
シボレ	内側へ行け、内側を守れ
ヒラケ	外側(ラインのほう)に行け
ハツテロ	相手の手薄なところで目立たぬように待機しろ
クロス	ボールを大きく横切らせる
タテ	ボールを縦方向に出せ
オオキク	ボールを大きく出せ
ツナゲ	短いパスで味方に繋げ
キープ	その場でボールをキープしろ
チョン	相手の背後へちょこっとした浮き球を出せ
モン	相手の間を抜くパスをしる
ウラ	相手の背後のスペースへパスを出せ
ウラヲミロ	背後に相手のフリーの選手がいる、気をつける
スルー	そのパスに触るな、自分が受ける
カコメ	2人以上でボールを持っている相手を囲め
キレ	ボールを外に蹴りだして、 一旦相手の攻撃を打ち切れ
ヨセロ	ボールを持っている相手に近づけ
アタレ	ボールを持っている相手にタックルにいけ
オクラセロ	相手のボールを奪いにいったりせず、 相手の前進だけを遅らせる (微妙に違うが、タツテロも似た意味)
モツテケ	ドリブルでそのまま上がっていき
ショウブ	そこで相手ディフェンダを抜いて シュートを打て(パスを考えるな)

なお、かけ声の品質というものも考慮しなければ

ばならない。たとえば、「(パスを) よこせ」というかけ声はどのようなチームでも多用される。しかし、「よこせ」と言った選手の戦術的な状況判断が間違っていることがある。強いチームなればなるほど「よこせ」の意味するものの信頼性が高くなる。さらに、かけ声がかけられたときそれに応えるだけの行動スキルが必要である。

本研究では、実際のサッカーに使われているかけ声を順次取り入れる予定であるが、ここでは、RoboCup Japan Open 2001 で優勝した YowAI 2001 に取り入れたものを 3 種類紹介する。

5.1 ショツテル

ボールを受けようとしている、あるいは、ボールを持った味方プレイヤーの背後に相手プレイヤーが近付いているとき、他の味方プレイヤーが「ショツテル」というかけ声をかける。この声をかけられたプレイヤーは、パスできる相手がいるならパスをおこない、パスできる相手がいないならば、ボールキープスキルを行使し相手プレイヤーにボールを奪われるのを防ぐ。ただし、具体的な状況、たとえば自分の位置などにより行動は多少変わる。

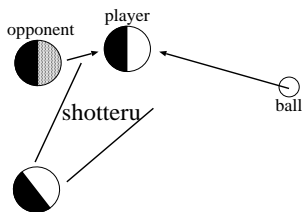


図 1: ショツテル

5.2 ハタケ

前節の「ショツテル」に呼応するかけ声として「ハタケ」というかけ声を用いる。これは相手プレイヤーを背負っている味方プレイヤーからパスを受けられる位置にいる味方プレイヤーが、自分にパスを出すように要求するものである。

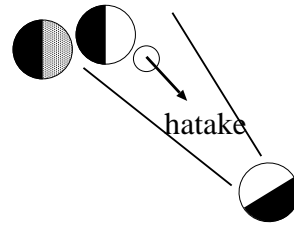


図 2: ハタケ

5.3 ゴツツァン

ボールを持った味方のプレイヤーがシュートエリアに入ったときに、自分のほうがより確実にゴールを決めることができるポジションにいる場合、「ゴツツァン」というかけ声を用いる。

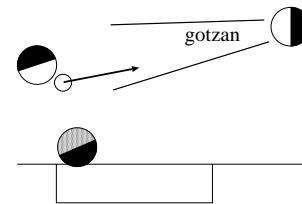


図 3: ゴツツァン

このかけ声により、YowAI2001 では明らかに得点率が向上した。

6 実際のかけ声の送り方

実際には、上記のようなかけ声を直接 say コマンドのメッセージとして送らずに、エージェントでの処理が簡単になるように次のような形でかけ声をかける。

1. かけ声は適当なアルファベットの文字列にコード化する
2. 特定のプレイヤーにのみ声をかけたい場合は、そのプレイヤーの背番号を付加する
3. 事前に味方を意味する内部的な名前を決めておき、これをメッセージの先頭を含める

1 は、かけ声の識別のためには、かけ声そのものをメッセージとして送る必要はないためである。また、かけ声対策をしてくるチームに対応する意味もある。2 は、現在の RoboCup において say コマンドが放射線の通信を想定しているため、受け取らなくてもよいプレイヤーまでもが受け取ってしまうことに対する対策である。プレイヤーの背番号を付加しない場合、かけられた声が自分に向けられたものなのかどうかを判別する処理を含まなければならなくなる。処理を誤ると、声をかけられたプレイヤーであるにもかかわらず声をかけられたプレイヤーではないと判断してしまうことがある。これでは、声をかけた意味がない。3 は、hear コマンドには声が聞こえた方向と声の内容だけしか含まれていないため、メッセージの発信者が味方のプレイヤーであるか相手のプレイヤーであるかが直接分からないためである。すなわち、味方からの声にだけ反応したいためである。

したがって、例えば、背番号 4 の味方プレイヤーの背後に相手のプレイヤーが迫っている場合、「シヨッテル」という声をかけるならば、

(say shotteru)

の代わりに、たとえば

(say SwordFish S 4)

となる。ここで S は “shotteru” に対応する略記号で、SwordFish は本研究で開発したチームの内部的な名前である。

7 チーム開発

現在 YowAI2000 をベースにしたチームが数多く生み出されている。2001 年 4 月に福岡で開催された Japan Open 2001 において準優勝した FC Tripletta (慶應義塾大)、予選グループをトップで通過した TUT-groove (豊橋技科大) などは、YowAI2000 をベースにしたチームである。また、Japan Open 99 において優勝した 11monkeys3 (慶應義塾大) はワールドモデリングの一部に YowAI2000 のコードを取り入れている。これ

らは YowAI2000 のワールドモデリングの品質が優れていることを実証している。SwordFish は、YowAI2000[7] をベースにしている。YowAI2000 は鈴木隆志が DangoEvolution1 として開発を始め、浅原慎之輔が 2000 年度のサーバ (ver.6) への対応とセンタリングからの得点の実現をおこなったチームである。YowAI2000 の開発コンセプトは、「基本能力とワールドモデリングの品質に重点を置き、say や hear を使ったエージェント間の協調をおこなわない」というものである。YowAI2000 はこのような開発コンセプトの下で Japan Open 2000 において優勝、メルボルンで開催された RoboCup 2000 では、5 位という好成績を収め、これによって協調動作の実現以前に個々のエージェントの基本能力が重要であることを示した。

7.1 チーム SwordFish

SwordFish は YowAI2000 の基本能力とワールドモデリングの品質を受け継ぎ、かけ声によるチームプレイの実現、状況判断能力の向上、ポジショニングシステムの改良、ボールキープスキルの開発をおこなったチームである。これらの改良の結果、オフサイドトラップやゾーンディフェンスといった組織的な守備をおこなうことが可能となった。

7.2 チーム YowAI2001

SwordFish は 2000 年度のサーバ用のチームであったため、今年度のサーバ上では、実力を発揮することができなかった。そこで、2001 年度のサーバ (ver.7) への対応をおこなったチームが YowAI2001 である。また、2001 年度のサーバへの対応の他に、徹底的なサイド攻撃、ポジショニングシステムの変更、ドリブルスキルなどを取り入れた。

8 評価

8.1 競技会での成績

YowAI2001 を 2001 年 4 月に福岡で開催された Japan Open 2001 に参加させた。Japan Open 2001 は日本大会としては過去最大の 28 チームが参加した。YowAI2001 は予選をトップで通過し、優勝を収めた。Japan Open 2001 での対戦結果を表 2 に示す。

表 2: Japan Open 2001 における成績

対戦相手	所属	点数 (得-失)
予選リーグ		
OZ	混成チーム	4-0
KuFrontier	関西大学	10-0
Regulus	東北大学	18-0
A-Team	東京工業大学	0-0
Saloo	産業技術総合研究所	16-0
決勝トーナメント		
Gnez	福井大学	9-0
11Monkeys3	慶應義塾大学	5-0
Team Harmony	北海道大学	2-1
FC Tripletta	慶應義塾大学	3-1
計		67-2

8.2 他流試合による評価

8.2.1 チーム SwordFish の評価

SwordFish を評価するため、YowAI2000 と 2000 年度サーバ (ver.6) 上で 10 試合対戦させた。また、RoboCup 2000 チャンピオン FC Portugal、RoboCup 99 チャンピオン CMUnited99 とともに 5 試合対戦させた。試合の結果を表 3 に示す。

試合結果から、SwordFish はベースとなった YowAI2000、CMUnited99 の実力を上回ることができたと言える。

表 3: 2000 年度サーバ上での試合結果

対戦相手	勝	敗	分	得点	失点
YowAI2000	9	0	1	3.1(0, 6)	0.1(0, 1)
FC Portugal	0	5	0	0.0(0, 0)	4.4(2, 8)
CMUnited99	5	0	0	1.0(1, 3)	0.2(0, 1)

得失点は [平均 (最小, 最多)] で記述

8.2.2 チーム YowAI2001 の評価

YowAI2001 の評価のため FC Portugal と 10 試合対戦させた。このときの FC Portugal は、2001 年 4 月に 2001 年度サーバ用に新たに公開されたものを使用した。YowAI2000 と CMUnited99 は 2000 年度のサーバ用のチームであり、2001 年度サーバ (ver.7) 上では本領を発揮することができないため、評価のための試合はおこなわなかった。その結果を表 4 に示す。

試合結果から分かるように、RoboCup 2000 で無失点優勝をした FC Portugal に対して得点することができるようになっており、ある程度互角に渡り合える段階に近づいたと言える。

表 4: 2001 年度サーバ上での試合結果

対戦相手	勝	敗	分	得点	失点
FC Portugal	1	6	3	0.4(0, 1)	1.9(0, 6)

得失点は [平均 (最小, 最多)] で記述

8.3 通信量の比較

全試合でエージェントが発行したコマンドのログを取らせるようにし、このログから通信量を測定した。表 5 に各チームの 1 試合平均の通信回数と通信量を示す (YowAI2000 はメッセージ通信をしない)。

表 5 より、YowAI2001 は FC Portugal、CMUnited99 に比べて、通信回数は約 1/40、通信量は約 1/1000 であることが分かる。また、YowAI2001 の 1 回当たりの通信メッセージは数バイトから十

数バイト程度なのに対して、FC Portugal、CMU-nited99 の 1 回当たりの通信メッセージは 300 ~ 400 バイトであった。

表 5: 通信回数と通信量の比較

チーム名	通信回数 [回]	通信量 [byte]
YowAI2001	73.3	1010.9
FC Portugal	2956.4	1087173.6
CMUnited99	3037.0	1439538.0

9 結論

本研究では、詳細な数値情報やフィールドの絶対座標を使用しない方法として、かけ声によるエージェント間の通信を提案した。その結果、かけ声による通信によってエージェント間のある程度の戦術的協調動作を実現することに成功し、マルチエージェントシステム全体としての性能向上を達成することができた。さらに、協調動作を実現するためのエージェント間通信の通信量を最小限に留めることにも成功した。実際、現在の世界のトップチームが大量の数値情報や記号情報をエージェント間通信に使用して協調動作を実現している中で、1回あたり数バイトという最小限の通信で協調動作を実現し、互角あるいは、それ以上の性能を発揮できた。これはかけ声による通信が RoboCup の提供する不完全情報下での分散協調問題に対して、有効な手法の一つであることを示している。

YowAI2001 で実装されたかけ声は「ショットル」「ハタケ」「ゴツァン」の 3 種類のみである。今後は (1) 表 1 に挙げたようなかけ声のレパートリーを増やすこと、(2) かけ声をかけるべき状況を精密化すること、(3) かけ声をかけられたときの状況に依存して、より多彩で効果的な判断や行動選択がおこなえるようにエージェント内部の戦術記述を豊かなものにする、(4) かけ声によるチーム強化を確固たるものにするために使いやすい「かけ声ビューア」を開発することなどが課題である。特に、最後のかけ声ビューアは、かけ声

による協調がどの程度の効果を発揮しているのかを切り分けるためにも重要である。

参考文献

- [1] <http://www.robocup.org/>, RoboCup Official Site, RoboCup Federation.
- [2] 北野 宏明編著: グランドチャレンジ —人工知能の大いなる挑戦—, 共立出版, 1993.
- [3] 沼岡 千里, 大沢 英一, 長尾 確: マルチエージェントシステム, 共立出版, 1998.
- [4] Emiel Corten, Klaus Dorer, Fredrik Heintz, et al: Soccerserver Manual Ver5.1, 1999
- [5] Peter Stone, Manuela Veloso: Task Decomposition, Dynamic Role Assignment, and Low-Bandwidth Communication for Real-Time Strategic Teamwork, Artificial Intelligence, 110(2), pp.241-273, June 1999
- [6] Luis Paulo Reis, Nuno Lau: FC Portugal Team Description, RoboCup 2000 team description, 2000
- [7] 鈴木隆志, 栗田英明, 竹内郁雄: RoboCup シミュレーション — エージェントの能力とワールドモデル, 情報処理学会研究報告 2000-GI-2, pp.25-32, 情報処理学会ゲーム情報学研究会, 2000 年 3 月