

外部カメラを用いたヒト型ロボットによるサッカー競技

RoboCup SSL Humanoid の提案

Proposal of RoboCup SSL Humanoid,

Soccer Game by Humanoid Robots under External Cameras Environment

升谷 保博 (大阪電気通信大学) 成瀬 正 (愛知県立大学)

長坂 保典 藤井 隆司 (中部大学) 渡辺 正人 (豊田工業高等専門学校)

光永 法明 (金沢工業大学) 中川 友紀子 (株式会社アールティ) 内藤 理 (東京大学)

*Yasuhiro Masutani (Osaka Electro-Communication University)

Tadashi Naruse (Aichi Prefectural University)

Yasunori Nagasaka Takashi Fujii (Chubu University)

Masato Watanabe (Toyota College of Technology)

Noriaki Mitsunaga (Kanazawa Institute of Technology)

Yukiko Nakagawa (RT Corporation) Osamu Naito (University of Tokyo)

info@robocup-ssl-humanoid.org

Abstract

The authors proposed “RoboCup SSL Humanoid” in 2007, which is a soccer game by autonomous humanoid robots under external cameras environment and was born from the RoboCup SSL (Small Size robot League). Its purposes are to pioneer the research area and to expand the range of participants of RoboCup keeping the distinctive features of the conventional SSL. In this paper, background of the proposal, a method of game, expected effects, and outline of the 2009 rule are described. Moreover, an example system demonstrated by team ODENS, Osaka Electro-Communication University in 2008 is introduced.

1 はじめに

著者らは, RoboCup[1]の小型ロボットリーグ(SSL: Small Size robot League) [2]に参加しているが, その経験を踏まえて, グローバルビジョン(外部カメラ)を用いてヒト型ロボットがサッカー競技を行うリーグを2007年に提案した[3]. この提案は, これまでの小型ロボットリーグの特徴と位置付けを保ちつつ, 新たな研究を展開し, かつ, 参加者の裾野を広げることを目的としている. 現在のところ, 小型ロボットリーグのサブリーグとして活動しているので, “SSL Humanoid”と呼んでいる.

本稿では, まず, 提案に至るまでの背景について述べ, それを踏まえて提案するSSL Humanoidリーグの特徴を説明する. 次に, 競技の運営方法, 研究課題, 期待される効果, ロードマップを記し, 2009年のルールを概説する. 最後に, 2008年に行われたRoboCupの国内大会と世界大会における実演の事例について紹介する.

2 背景

2.1 RoboCup 小型ロボットリーグとヒューマノイドリーグの現状

RoboCup 小型ロボットリーグにおいては, 車輪型のロボットと天井カメラを用いるサッカー競技の方法がほぼ確立され, 細かな要素技術の性能競争になっている. そのため研究開発の更なる飛躍を図るには, 新たな問題設定が必要とされている. また, 技術レベルの高度化と必要な費用の増大により新規参入が困難になっている.

一方で, RoboCup ヒューマノイドリーグ[4]では, カメラや画像処理を含むコンピュータなど全てをロボットに搭載することが求められており, 技術的・経済的なハードルが高いのが現状である.

2.2 市販のヒト型ホビーロボットの進歩

近年, 小型のヒト型ロボットのキットが比較的安価に市販されるようになり, ホビーとして人気が高まっている. そのようなロボットを使って格闘技やサッカー競技が盛んに行われている. 一部で自律化の試みも行われているが, 現状では人が目視でロボットを操縦する競技がほとんどで,

機構の製作や操縦の楽しみに重きがあるように思われる。

2.3 環境の知能化に向けた要請

人間とロボットの共生を図るために、人間やロボットが活動する環境側にも視覚センサや聴覚センサ、さらにはRFタグを埋め込み、これらの情報を用いてロボットを高度に制御しようという社会的な動きがある [5]。複数のロボットが動作するのであれば、各ロボットにセンサを搭載するよりも環境そのものを知能化することが、コスト面でも有利になる可能性が高く、研究が進められている。

3 SSL Humanoid の提案

小型ロボットリーグは、RoboCup の中で唯一外部カメラを利用できるリーグである。この特徴を継承しつつ、車輪型ロボットをヒト型ロボットに置き換える。これによって、いわゆるアームレースと呼ばれる特定の要素技術の開発に偏りがちな小型ロボットリーグを、本来の AI 技術や制御技術の研究に回帰させる。

SSL Humanoid では、小型ロボットリーグと同様に、カメラと画像処理や行動決定を行うコンピュータを外部に置くことを認める。したがって、ヒューマノイドリーグと違い、ロボット本体は市販のロボットキットを使うことができる。さらに、これまで小型ロボットリーグで培われてきた画像処理や無線技術を共通基盤として使いやすく整備する。これらによって、技術的・経済的な困難を減らすことができ、ヒューマノイドリーグへの参加をあきらめていた層や、ヒト型ロボットをホビーとしていた層にも参加を促し、RoboCup やロボティクスに関わる人の輪を広げる。

提案する競技のシステムは、知能化された環境でヒト型ロボットが活動するシステムの 1 ケースとして捉えることができる。したがって、ここで開発する技術は、将来サッカー競技以外への応用が期待できる。

4 競技運営方法

提案するリーグは、小型ロボットリーグのサブリーグとして開始する。初期の段階では、小型ロボットリーグのフィールドの半分を使い、天井カメラやマーカも小型ロボットリーグと共用できるようにする。1 チームあたりのロボット数は 3~5 台とする。ロボットの身長、質量、脚や腕の寸法、足部の寸法や面積の比率によって、形状を規定する。

競技の公平性と参加者に対する敷居を下げるために、天井カメラおよび画像処理装置はリーグ実行委員会が用意する。ロボットの頭頂に取り付けるマーカは指定のもので統一する。用意された共通基盤である画像処理装置の処理結果には、フィールド上の全オブジェクトの位置・姿勢が含まれる、処理結果は、ネットワークを通じて、参加チー

ムのコンピュータへ送られる。技術的ハードルを下げ、混信を防ぐため、フィールド外のコンピュータからロボット本体へ指令を送るための無線装置はリーグで標準化する。なお、これらの共通基盤の整備には、RT ミドルウェアなどの枠組みを用いて、新規参入やノウハウの蓄積を促進する。

一方で、SSL Humanoid には、標準の画像処理装置を利用しないクラスをリーグ内に設ける。高度なグローバルビジョンシステムの研究開発を目指して、4 台程度のカメラでフィールドを斜め上方から撮影することを許す。このクラスでは、チームが自前のカメラを設置し、画像処理もチームごとに行う。

5 研究課題

SSL Humanoid には、大きく分けて二つの研究課題がある。以下にそれぞれについて述べる。

5.1 ローカルビジョンからの解放

ヒト型ロボットにカメラや画像処理装置を全て搭載すると、技術的、重量的、コスト的に困難が大きく、また、視野や解像度や処理速度に限られるため、現状では、ローカルビジョンがロボットの基本能力のボトルネックとなっている。そこで、グローバルビジョンを用いることによって、ローカルビジョンによる制約を受けずに、ヒト型ロボットの研究開発を行うことができる。この目的のために、これまで小型リーグで培われてきた「2次元」「マーカあり」の画像処理の技術やノウハウをモジュール化し参加チームで共有する。これによって、ヒト型ロボットの機構や運動制御、複数エージェントの戦術や戦略の研究に注力できる。また、「環境知能化」の研究の実証実験の場にも資する。

5.2 グローバルビジョンの進化

これまで、小型ロボットリーグで使われてきたグローバルビジョンは「2次元」「マーカあり」を対象としていた。より実用的なビジョンの問題に進化させるために、ヒト型ロボットを対象とし、「3次元」「マーカなし」の問題に取り組む。従来のように、個々のロボットの識別とその位置と方向の推定だけでなく、姿勢（関節変位）や運動の種類を認識することを目指す。3次元を認識するには、真上からではなく斜めから多くのカメラでフィールドを観察する必要があり、それらの情報を統合して実時間で3次元の情報を得なければならない。究極の目標は、レフェリーと実況中継まで自動化することである。

6 期待できる効果

1. ヒト型ロボットの機構や運動制御の研究開発の加速。
現状のローカルビジョンでは、カメラや画像処理コンピュータの重量や体積・消費電力・処理能力が、口

ボットの性能を制限している。そこで、グローバルビジョンを使うことにより、高速性と軽量性を活かした多様な運動の実現が期待できる。また、それにより作業スキルやその学習の研究も推進できる。

2. 複数のヒト型ロボットによる協調行動の研究開発の加速。

現状のローカルビジョンでは、その視野や解像度に限界があり、大局的なオブジェクトの配置の認識や、3次元的な運動の推定が難しい。そこで、グローバルビジョンを用いることによって大局的な情報に基づく戦術や戦略を展開し、ヒト型ロボットによる協調行動の研究開発を進める。

3. 画像に基づく複数の人体の認識と理解の研究開発を展開。

ヒト型ロボットを外部センサに基づいて認識するには、その位置や方向だけではなく、姿勢（関節変位）を推定し運動の種類を識別する必要がある。対象は、マーカのない複数のヒト型ロボットであり、お互いの体によって隠れが生じ、しかも、実時間性が求められている。これは、人体を対象にしても共通の課題である。このような課題についてリーグとして取り組む。

4. 環境知能化の実証実験の場を提供。

ロボットの搭載センサだけでは得られる情報は限られており、グローバルビジョンから得られるデータは、知能化された環境から提供される情報と見なすことができる。つまり、提案するリーグは、環境知能化の研究を検証する実験の場として使うことができる。

5. 小型リーグの飽和状態を打開。

小型ロボットリーグは、最近その技術が先鋭化しており、参加チームにとってかかる費用が膨れ上がっており、新規の参入も難しくなっている。このため参加するチーム数が減少している。先鋭化を防ぐ規定が何度となく提案もされているが、なかなか受け入れられず状況は変わっていない。小型ロボットリーグに必要なのは、規定の小さな変更ではなく、新たな研究課題を設定でき、なおかつ新規参加者が入りやすい大きな規定の設定であり、提案するリーグによってそれが実現できる。

6. RoboCup への新規参入を促進。

近年、ホビーロボットの分野で主に遠隔操縦のヒト型ロボットが盛んに使われるようになっており、技術やノウハウが蓄えられている。このリーグであれば、そのようなロボットが大幅な改造をせずに参加でき

Table 1: SSL Humanoid のロードマップ

2009	マーカ付きロボット カメラはチームごとに用意し、真上に設置 無線方式は自由
2010	全チームがカメラを共用 無線方式を統一
2012	マーカなし部門開始
2015	マーカ廃止

る。新たな人材やノウハウをロボカップへ呼び込む機会である。

7 ロードマップ

Table 1 に SSL Humanoid のロードマップを示す。具体的に年限を決めて、新しい段階へ移行していくことを狙っている。

Figure 1 に競技形態の発展を示す。2009 年は準備段階であり、従来の小型ロボットリーグの技術を転用し、「2次元」「マーカあり」の認識を行う。つまり、ロボットの頭頂部にマーカを取り付け、真上から天井カメラでそれを撮影している。また、天井カメラはチームごとに用意している。それがいくつかの段階を経て 2015 年頃には最終段階に至り、「3次元」「マーカなし」の認識に基づく競技にすることを目標としている。この段階では、3次元情報を得るために、4台以上のカメラでフィールドを斜め情報から撮影する。また、カメラ映像、あるいは、その処理結果をチーム間で共有する。

8 2009 年のルールの概要

2009 年のルールの日本語版および英語版をウェブサイト [3] で公開している。小型ロボットリーグのチームが移行しやすいように、ルールの多くの部分は、小型ロボットリーグと共通にしている。以下に、その概要を述べる。

1. 競技のフィールド

- 4050[mm]×3025[mm]（小型ロボットリーグの半面）。
- 表面は緑色のカーペット。
- ゴールは、幅 1000[mm]、高さ 600[mm]。

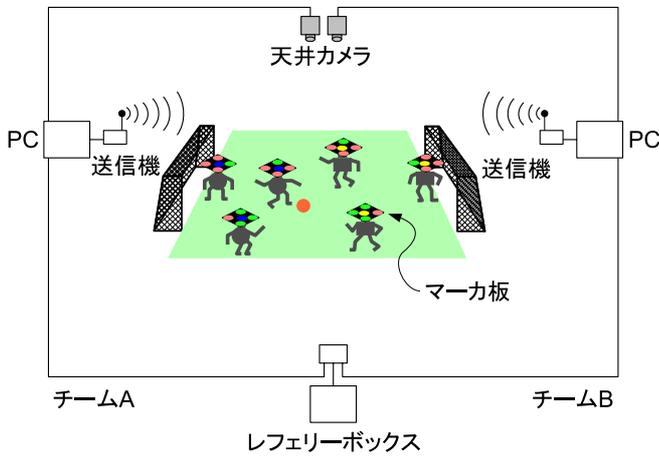
2. ボール

- オレンジ色の硬式テニスボール

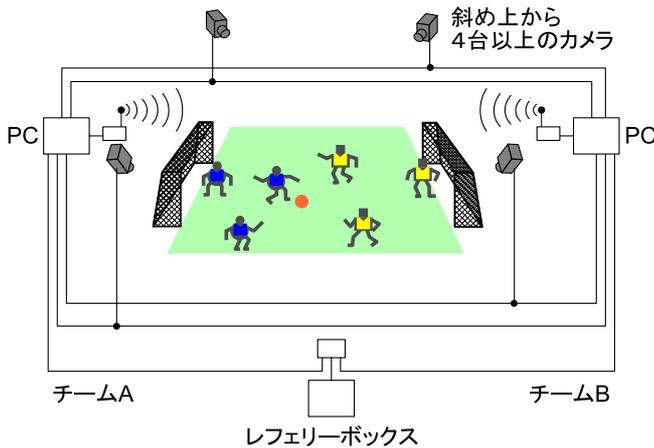
3. ロボットの台数

- 1 チーム 3 台。1 台をゴールキーパとする。

4. ロボットの装備



(a) 準備段階 (2009年)



(b) 最終段階 (2015年頃)

Figure 1: SSL Humanoid の競技形態

- 2脚2腕, 高さ 200~400[mm], 質量 4[kg] 以下.
- 軸数, 寸法比率に制限あり (ここでは省略).
- ロボット頭部の上面に 120[mm]×120[mm] のマーカ板を付ける.
- 外部のコンピュータと無線通信可能.
- 外部カメラ使用可能.
- 完全自律. 遠隔操縦禁止.

5. 主審

- 主審を置く.
- 小型ロボットリーグと同じレフェリーボックスを用いて, 両チームに信号を送る.

6. 副審

- 計時, レフェリーボックスの操作.
- 2人目を置き, フィールド内での補佐を行わせてもよい.

7. 試合時間



Figure 2: RoboCup ジャパンオープン 2008 におけるデモ



Figure 3: RoboCup 2008 Suzhou China におけるデモ

- 前半 5 分, ハーフタイム 5 分以内, 後半 5 分.
- タイムアウトは, 4 回以内, 合計 10 分以内.

この後に, ファウルやフリーキックなどの規定が続くがここでは省略する. 詳細は [3] を参照されたい.

9 2008 年のデモの事例紹介

2008 年 5 月に静岡県沼津市で開催されたロボカップジャパンオープン (国内大会) と, 7 月に中国の蘇州で開催された RoboCup2008 (世界大会) において, SSL Humanoid の実証と広報を目的として, 大阪電気通信大学のチーム ODENS がデモを行った. Figure 2 と Figure 3 にその様子を示す. この事例を簡単に紹介する.

9.1 システムの概要

Figure 4 にシステムの概要を示す. ヒト型ロボットの頭頂部にはマーカ板が取り付けられている. フィールドの上部には, カメラが鉛直下向きに取り付けられており, ロボットのマーカとボールを撮影する. 撮影された映像は, PC (ロボットサーバ) に取り込まれて処理され, ボール

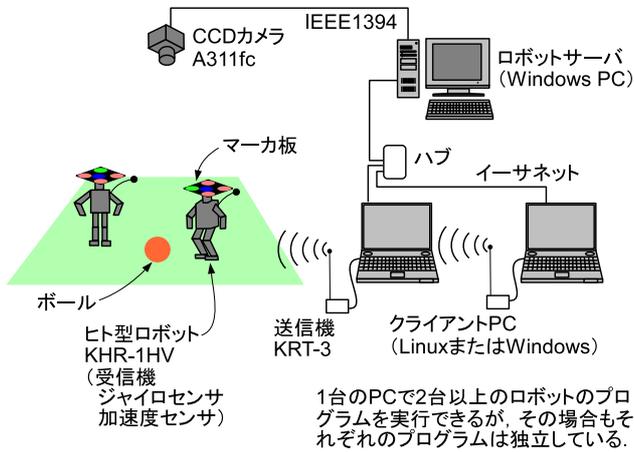


Figure 4: チーム ODENS のシステム概要

と各ロボットのフィールド上での位置と方向が算出される。そのデータはネットワークを介して、各ロボットの行動決定を担当する別のPC(クライアントPC)のプログラムへ送られる。各行動決定プログラムは、得られたデータからロボットのモーションを選択し、その番号を無線でロボットへ送信する。ロボット本体には、あらかじめモーションが登録されており、無線で送られてきた番号に応じたモーションを実行する。以上を繰り返すことによって、自律的にヒト型ロボットにサッカーを行わせる。

9.2 ロボット本体

ヒト型ロボットの本体には、近藤科学社製のロボットキット KHR-1HV を用いている (Figure 5)。オプションの加速度センサと角速度センサを追加しているが、それ以外の改造は行っていない。各関節は、RC サーボで構成されており、搭載の CPU ボードから角度に対応する指令値を送ることにより制御している。各関節変位の組を「ポーズ」と呼び、ポーズの並びを「モーション」と呼ぶ。CPU ボードには、複数のモーションが記憶されており、それを番号によって選択する。モーションは、PC 上のアプリケーション HeartToHeart3 で開発する。CPU ボードには、受信機 KRR-1 が接続されており、外部からモーションの番号を受け取ることができる。

ロボットの頭頂部には、120mm×120mm のマーカ板が起立時に水平になるように取り付けられている。マーカ板は、黒い板に円形の色マーカを貼り付けたもので、中心から前寄りにずらした場所に規定で定められた青色か黄色のメインマーカ、四隅にロボットの番号と方向を識別するピンクか黄緑のサブマーカを配置している。

ロボットが転倒すると、そのマーカは天井カメラに映らなくなるので、外部から制御できなくなる。そこで、ロボットに搭載された加速度センサを用い、自分が倒れたと判断すると起き上がりのモーションが発動するようにプログラムしている。無事に立ち上がれば、再び天井カメ

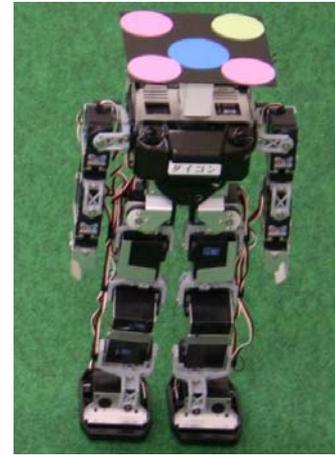


Figure 5: チーム ODENS のロボット本体

ラに映り、制御ができるようになる。

9.3 カメラ・画像処理

カメラおよび画像処理を行うサーバ PC は、小型ロボットリーグのシステム [6] をほぼそのまま転用している。カメラは、Basler 社 IEEE1394 カメラの A311fc (658×492pixel, 60fps)、レンズは TAMRON 12VM412ASIR である。PC は、Dell Dimension 9150 (CPU: PentiumD 3.2GHz, RAM: 1GB) で、OS は Windows XP である。小型ロボットリーグでは 2 台のカメラの情報を統合しているが、1 台のカメラだけでも使えるように変更した。また、マーカの配置が異なるため、そのための識別アルゴリズムを追加した。

小型ロボットリーグでは、ロボットの動きが高速であり、高価で特殊なカメラを使っているが、SSL Humanoid ではロボットの動きは遅いので、当面はもっと安価なカメラで実用になると思われる。ただし、解像度は、現在のフィールドとマーカ板の大きさでは、少なくとも 640×480pixel が必要である。

9.4 行動決定

ODENS チームでは、ロボット 1 台ごとに独立した外部プログラムで行動決定を行っている。この部分も、小型ロボットリーグの成果を転用している。ただし、ODENS の小型ロボットリーグでは、指令は全方向移動ロボットの「速度」であるのに対し、SSL Humanoid では、指令はモーションの「番号」であり、粒度が異なる。また、制御の周期は、小型ロボットリーグ用のシステムでは、カメラの周期と同じ 16.7[ms] であるが、このシステムでは、ロボットの仕様上 72[ms] 程度でしかない。

ODENS の小型ロボットリーグのシステムでは、行動決定プログラムは、指令をサーバへ送り、サーバが全ロボットにまとめて送信しているが、SSL Humanoid では、行動決定のプログラムから直接ロボットへ指令を送ってい

る。指令を送るのは、USB で接続された送信機 KRT-3 であり、プログラムからはシリアルポートへ 2byte の整数値を送っている。

9.5 総括

競技会においては、3 台のロボットによるパス回し、静止障害物の回避行動、スローイン、1 チーム 3 台の試合形式などのデモを行った。その映像は、SSL Humanoid のウェブサイト [3] で公開している。2008 年のデモによって、SSL Humanoid の効果的な広報ができたが、一方でシステムの問題点も明らかになった。例えば、グローバルビジョンに関しては、ボールがロボットに隠されて見えなくなることがあったり、マーカから得られる位置・姿勢だけでは行動決定には不十分だったりすることがわかり、マルチカメラ・3 次元認識の必要性を実感することになった。また、無線通信の充実も望まれるところである。

10 おわりに

2009 年のジャパンオープンおよび世界大会において、日本の 4 チーム、ODENS++（大阪電気通信大学、大阪府立工業高等専門学校）、RoboDragons（愛知県立大学）、Owaribito-CU（中部大学）、KIKS（豊田工業高等専門学校）が、デモ競技を行う予定である。それを踏まえて、2010 年から正式な競技として開始できるように準備を進めていく。

参考文献

- [1] RoboCup:
<http://www.robocup.org/>
- [2] RoboCup Small Size Robot League:
<http://small-size.informatik.uni-bremen.de/>
- [3] RoboCup SSL Humanoid:
<http://robocup-ssl-humanoid.org/>
- [4] RoboCup Humanoid League:
<http://www.tzi.de/humanoid/>
- [5] 特集「環境知能化」、日本ロボット学会誌, vol.25, no.4, 2007.
- [6] 金谷 境一, 中島 誠, 升谷 保博: RoboCup 小型リーグにおけるパスとシュートのための行動決定の方法, 第 26 回日本ロボット学会学術講演会, 3F1-04, 2008.