

社会的知能発生学シミュレータ SIGVerse を用いた 記号創発ロボティクスの展開

Development of Symbol Emergent Robotics using SIGVerse the SocioIntelliGenesis Simulator

稲邑 哲也*1*2

Tetsunari Inamura

*1国立情報学研究所

National Institute of Informatics

*2総合研究大学院大学

The Graduate University for Advanced Studies (SOKENDAI)

I focus on a synthetic research on elucidation of genesis of social intelligence – physical interaction between body and environment, social interaction between agents and role of evolution and so on –, with aiming to understand intelligence of humans and robots. For such an approach, Interdisciplinary discussions with wide viewpoint for various research field such as cognitive science, developmental psychology, brain science, evolutionary biology and robotics are required. In this approach, two interactions should be considered; physical interaction between agents and environments and social interaction between agents. For such requirements, SIGVerse the SocioIntelliGenesis simulator that integrates dynamics, perception, and social communication simulations, has been developed. In this paper, I show potential of this simulation environment toward developing of research on symbol emergent robotics that bridges real environment/users and cyber space to realize wide and social interaction experiments. As examples of human-robot interaction systems based on SIGVerse, we introduce three applications.

1. はじめに

知能ロボットの開発のために人間の知能のメカニズムを知ることの一つの有力な手段であるが、人間や動物のような複雑なシステムにおける知能の原理を解明するには、身体と環境との物理的相互作用や社会的相互作用など、多くの周辺分野についての理解や知識が必要となる。また、従来の科学が取ってきた還元論的なアプローチではなく、ロボットやシミュレーションなどを用いた構成論的・計算論的アプローチに基づいた議論が重要となる。特に人間の知能の象徴の一つである言語を操る能力の実現については、数多くの困難が未だ山積しており、構成論的アプローチによってこれに取り組む試みが記号創発ロボティクスである。

このコンセプトでは、複数のロボットと複数のユーザが、身体的な運動や記号・言語によるインタラクションを長時間継続するなかで、新しい記号や言語の獲得を目指して行くことが求められる。しかし、実際のロボットシステムを用いた実験や、被験者を実験室に集めてくるような実験のスタイルは、非常に多くのコストを払う必要があり、大規模で長時間のインタラクションに基づく記号の創発を議論する上では量的な壁が存在していた。

そこで、仮想環境上のソフトウェアのロボットエージェントと、複数のユーザをインターネットを介して結び、長時間で大規模な社会的インタラクションの場を提供するソフトウェアプラットフォームを記号創発ロボティクスの研究展開に向け活用することを議論する。身体的なインタラクションと記号・言語に基づく社会的インタラクションの双方を実現するには、力学・物理シミュレーションだけではなく、エージェントの知覚世界のシミュレーションや、エージェント同士の記号コミュニケーションをソフトウェア上で実現する機能が必要である。筆者を中心として、その目的に合致しているシミュレーションプラットフォーム SIGVerse を提案してきている [Inamura 10][橋本 10]。本稿では、そのシミュレーター機能の中でも、特に、実世界にお

ける人間（ユーザ）と、仮想世界で活動する自律エージェントの間の社会的インタラクションに着目する。実世界と仮想世界で共有された cyber 空間において、様々な場所からアクセスされた複数の実世界ユーザと、cyber 空間の中の複数の自律エージェントからなる人間ロボット協調系の構築方法について述べる。また、SIGVerse が持つ機能が、記号創発ロボティクス研究に効果的である事をいくつかの事例を通じて示し、今後の研究の展開アプローチについて議論する。

2. 統合シミュレーションプラットフォーム:SIGVerse

SIGVerse は大きく分けて、力学シミュレーション、知覚シミュレーション、対話シミュレーションの3つのパートから構成される。力学シミュレーションには、Open Dynamics Engine(ODE) が採用され、身体を持つエージェントの物理的運動がシミュレーションされる。シミュレートできる知覚のモダリティとしては、視覚、聴覚、力覚がある。聴覚のシミュレーションとしては、計算コストの側面から音場や反響音のようなシミュレーションは採用せず、音声データの通信のみが行われる。ただし、エージェントから発せられる声は距離に応じて届きにくくするように、距離の二乗に反比例して音のパワーが減衰するような効果を入れることができる。またある閾値の距離以内にだけ声が到達するようにすることもできる。

本シミュレータはサーバクライアント形式となっており、中央のサーバシステムでは主に力学演算が行われる。知覚を用いて行動を行う物体はエージェントと呼ばれ、ロボットや人間のアバターがエージェントの候補となる。エージェントの行動モジュールは専用の C++ の API を用いて記述され、複数の異なるクライアントからそのモジュールを送り込むことが可能である。

3. 記号創発ロボティクスへの展開

SIGVerse の特徴は、力学計算、知覚シミュレーション、コミュニケーションのシミュレーションを同時に行う事ができる

連絡先: 稲邑哲也, 国立情報学研究所/総合研究大学院大学,
inamura@nii.ac.jp

点である。本章では、これら3つの機能を全て活用するアプリケーションの例として人間とロボットが協調してタスクを実行する例について述べる。

3.1 人間機械協調系の評価としての利用

人間とロボットが協調してタスクを遂行するというドメインでは、身体的な動作の提示・観察・認識に加えて、言葉による対話も重要であり、作業の遂行・学習を通じて創発される記号を言語として獲得するというアプリケーションが期待される。実際の人間とロボットが協調する際、等身大のヒューマノイドロボットを購入・開発する事は限られた環境でなければ困難であり、長時間に渡る実験を遂行することも難しい。そこで、オペレータが仮想環境内のアバターを操作する事で、ロボットとの協調作業を再現する。開発者が開発する知能モジュールは、仮想的な視覚や聴覚を用いてその場の状況理解やユーザの状態認識を行い、アクチュエータを制御するモジュールが力学計算を行い、さらにアバターとロボット間のコミュニケーション機能がシミュレーションを通じて実行される。

上記のアプリケーションの例として、「お好み焼きを焼く」というタスクを人間とロボットが協調して実行する状況を SIGVerse 上で実行した。このアプリケーションの実行画面例を Fig.1 に示す。オペレータが利用できる GUI には「ひっくり返す」「油をひく」「ソースを塗る」「火力を調節する」などのボタンがあり、タスクの目的はお好み焼きを焦がさないように、なるべく早く焼き上げる事を協調の目的としている。基本的にオペレータが GUI を使って作業を進めるが、ロボットは状況を判断しつつ、オペレータが作業をしている内容と並列して実行できる作業があった場合には、「今のうちに油をひいておきましょうか?」「火力を弱くしましょうか?」などの質問をオペレータに投げかけ、オペレータの反応を見ながら作業を遂行していく。また、GUI ベースのインタラクションだけでなく、ハプティックインタフェースを用いてお好み焼きをひっくり返す動作をオペレータがロボットに教示をするようなアプリケーションの実装も可能となっており、身体的運動とその言語的表現の双方を学習したり、対話によって個人特有の言語的表現へ適応したりするような発達の記号創発ロボティクスの実験が可能となっている。



図 1: A case in which a robot helps avatar's task

3.2 身体動作を伴う没入型仮想環境インタフェース

前述のユーザインタフェースは、基本的にはウェブブラウザのような PC の画面内のインタフェースを用いていた。しかしながら、身体的な運動やジェスチャーを伴う自然なインタラ

クションが必要となる場合には、大きな制約となる。そこで、全方位に仮想空間の映像を投影でき、かつ、部屋の中の人間の動作を計測できる環境 [Kwon 10] を用いることで、ユーザは全身運動を伴うインタラクションを仮想空間内のロボットエージェントに対して行うことが可能となる。例としては、移動ロボットエージェントに対するジェスチャーを通じた指示伝達 [Kwon 10] や、前述した「お好み焼きを協調して焼く」というタスクに、没入型インタフェースを適用する例 (Fig.4) などがある。モーションキャプチャシステムはやや規模の大きな設備ではあるが、Kinect 等、安価な動作計測装置を用いることも可能で、複数のユーザが、複数の実験室から SIGVerse にアクセスし、仮想的な人間とロボットからなる社会的インタラクション実験へと発展させるポテンシャルを持っている。

例えば、ロボットが人間に対して身体運動をコーチングするというアプリケーション [奥野 11] の研究を進めているが、運動学習をする初心者がモーションキャプチャシステムで SIGVerse 上のレッスンに参加し、ロボットの示す動きだけでなく、他者の運動学習の進展具合などを確認しながら、社会的な場でのコーチを受けることが可能となり、単なる 1 対 1 の Human-Robot Interaction に狭く限定せず、多対多の社会的相互作用が行われる場での身体運動の発達とそれにとまなう記号的なインタラクションの発達を議論するような研究の方向性が考えられる。



図 4: Embodied interaction system for a okonomiyaki task on SIGVerse

3.3 共同注意の実現

もう一点、人間とエージェントの間の自然な社会的インタラクションをサポートする機能として、視線の動きのシミュレーション機能がある。言語獲得等の研究において、話題の対象を特定するための重要なキーとなるのは共同注意であり、視線の方向・動きを観察し、その挙動をモデル化したり、モデルに基づいて推測を行うという機能の重要性は記号創発ロボティクスでは大きくなっていく。視線検出装置等でユーザの視線を計測し、シミュレータ上の cyber 空間に転送し、その視線方向に応じて、エージェントやアバターが見ている視野画像を取得する機能も実装されている。視線計測装置と HMD を統合することで、実空間のユーザと cyber 空間のロボットエージェントとの間での共同注意を用いた実験も容易に構築可能である。図 3 に、共同注意によってロボットが危険物を回避するという行動を実現している様子を示す。

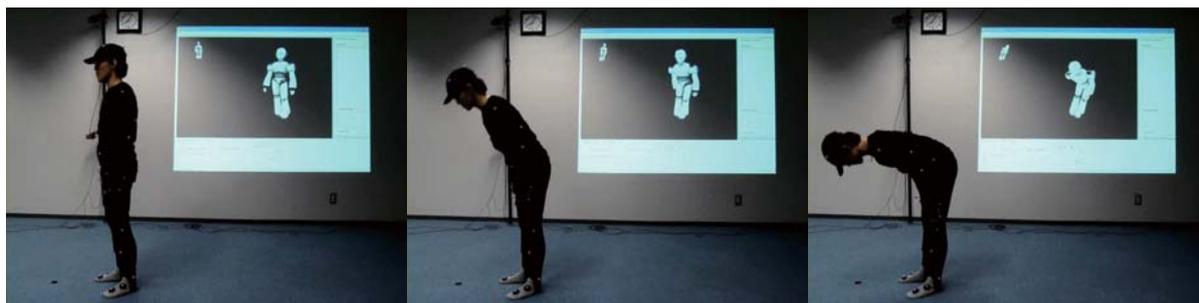


図 2: Realtime measurement and display of human motion pattern

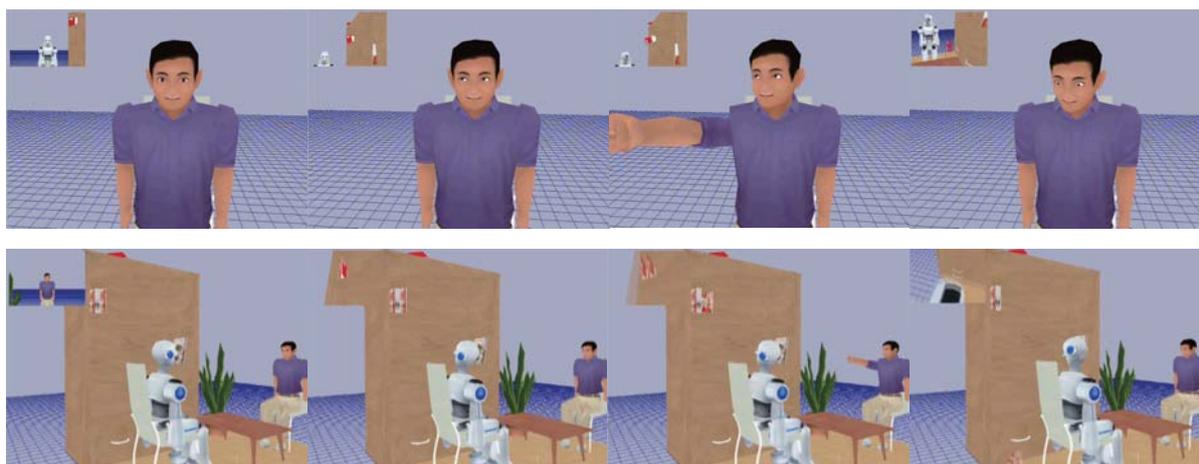


図 3: Experiment on joint attention between human and robot. The robot observes direction of the user's eyes. Using joint attention, the robot could avoid the falling object from a shelf.

4. まとめ

本稿では、身体性の力学シミュレーションと、センシングと、社会的コミュニケーションを同一のシステム上で統合するシミュレーションプラットフォーム SIGVerse のコンセプトについて概説し、人間やロボットの知能のメカニズムの理解のために必要となる学際的な研究アプローチにそった記号創発ロボティクスへの研究の展開について述べた。

今回挙げた例は、現状としては、ロボット 1 体とユーザ 1 人の間のインタラクションに留まっているが、ソフトウェアの構造上、共有された cyber 空間で、複数のユーザが複数のロボットと同時にインタラクションを行うことが可能である。今後、社会的なインタラクションを通じて記号が創発される枠組みを議論する上で、研究室に閉じた小さい規模の人間ロボット系だけの議論は不十分であることは明らかであり、このような大規模な社会的インタラクションを実現する情報基盤が有効になってくると考える。

参考文献

[Inamura 10] Inamura, T. *et al*: Simulator platform that enables social interaction simulation –SIGVerse: SocioIntelliGenesis simulator–, in *Proc. of IEEE/SICE International Symposium on System Integration*, pp. 212–217 (2010)

[Kwon 10] Kwon, O. and Inamura, T.: Surrounding Display and Gesture based Robot Interaction Space to Enhance User Perception for Teleoperated Robots, in *Int'l Conf. on Advanced Mechatronics*, pp. 277–282 (2010)

[奥野 11] 奥野 敬丞, 稲邑 哲也: デフォルト動作と言語注意を使用したロボットシステムによる動作コーチングの研究, 第 16 回ロボティクスシンポジウム, pp. 436–441 (2011)

[橋本 10] 橋本 敬, 稲邑 哲也, 柴田 智広, 瀬名 秀明: ”社会的知能発生学における構成論的シミュレーションの役割と SIGVerse の開発”, *日本ロボット学会誌*, Vol. 28, No. 4, pp. 407–412 (2010)