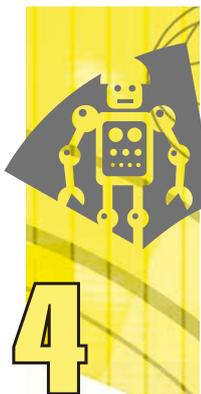


人とのかかわり



cyber-physical ネットワークロボティクス

—社会的・身体的知能シミュレータ SIGVerse の展開—

稲邑哲也 ■ 国立情報学研究所／総合研究大学院大学

ネットワークロボット研究のジレンマ

クラウドネットワークロボット専門委員会（電子情報通信学会）等での取り組みによって、人とロボットをつなぎ、またロボットが情報処理技術とつながることによって、社会の中での人間の活動を把握した上で、ロボットがサービスを提供するようなシステム設計が可能になってきている。

そのようなシステム開発のために必要となる要素技術の研究対象は、人間とロボットの対話技術、特に、人間とロボットが対話をした履歴をデータベースに残し、そしてそのデータベースを活用して、サービスを提供するための事前知識には存在しない情報を獲得する技術であったり、より効率の良いサービスを提供する機械学習等である。このような研究を実施する際には、大人数の被験者である人間に、ロボットとの対話実験に参加していただく必要があり、またその対話が提案手法によって何らかの向上が見られたことを評価する実験も行う必要がある。このような実験は、実機のロボットを設計・開発・メンテナンスし、1日何時間も連続稼働させ、何人もの被験者との対話実験をひたすら繰り返すという途方もない努力を必要とする。この点がいわゆる「HCI: Human Computer Interaction」の研究と非常に差が見られる点である。HCI研究では、もちろんインタラクションを行うソフトウェアを開発する必要はあるが、その開発・メンテナンス作業には物理的な機械部品が含まれることはまれであり、比較的スムーズに実験環境を構築することが可能である。その1つの良い例は、Akinator と呼ばれる Web 上のインタラクティブゲームシステムである。このシ

ステムは、ユーザが想像している任意の人物名を、システムがいくつかの選択式の質問を繰り返すことで当てる。システムが当てることに失敗した際には、ゲームに参加したユーザが新しい人物や質問例を教示することで質問と正解のレパトリーが増加する仕掛けになっている。社会で人間と対話をしながら、実世界におけるサービスを提供していくロボットには、このような仕掛けで常に新しいことを学習し続け、学習した結果を次の対話に用いていくような枠組みが非常に重要となる。

しかしながら、このような対話システム研究を実際のロボットで実施するには、多くの困難をクリアする必要がある。前述したように、まずロボット自体を開発、あるいは購入し、連続稼働させ、膨大な量の対話実験を何回も繰り返す必要がある。このような試みはたとえば国際電気通信基礎技術研究所 (ATR) のグループを中心として進められてきており、ショッピングモールや駅等の公共スペースでのサービスの提供・社会的インタラクションの分析などでの研究成果¹⁾がある。しかし、これは ATR のネットワークロボティクスグループを中心として、非常に多くの研究予算、大人数のグループでの共同研究、献身的なロボット開発・操作者の長時間作業などがあって初めて成立するような状況である。ある若手の研究者が1人で研究をスタートアップさせるテーマとして、実機ロボットによる大規模対話というテーマはきわめて実施が難しい。しかしながら、このような研究テーマで求められるのは、対話データに基づく機械学習、対話戦略、知識獲得、ユーザモデル同定などであり、実験デバイスの開発を除けば、人工知能研究者、情報処理技術研究者が最も得意と

する分野である。ロボット研究者との共同研究が現状での最適解ではあるものの、ロボット研究者の立場からしても、学術的な成果に結びつかないロボットの開発やメンテナンスに費やす時間やコストを最小限に抑えたいというのが本音であると思う。

本稿では、このような現状を踏まえ、ネットワークロボティクス研究の基礎となる人間ロボット間対話に基づく情報処理、機械学習、データベース構築などの側面に集中して研究を実施するためのアプローチとして、シミュレーションによる人間とロボットが対話できるシステムの活用について現状の可能性を解説する。

社会的知能発生学シミュレータ：SIGVerse

人間同士が仮想環境の中でコミュニケーションをする仮想社会は、セカンドライフを始めとして3次元空間の中で行動できるようなSNS（ソーシャルネットワークサービス）が多数開発・運営されている。しかしながら、アクチュエータとセンサを持つ物理的な知能ロボットが人間と対話をし、その経験から知能を発達させ、より良いサービス行動を獲得していくような枠組みは、単純なSNSでは構築不可能であった。

そのような社会の中で知能を獲得していくロボットシステムの研究を促進するために、筆者らは社会的知能発生学シミュレータ SIGVerse²⁾を開発し、人間とロボットが社会的・身体的相互作用を行う状況において、実機を使わずに仮想世界のロボット上で実験・評価を行う枠組みを提案してきた。本章ではその従来までの機能の概要を説明する。

★ シミュレーション対象

まず、ロボットの制御や運動に必要な物理シミュレーション機能がある。力学シミュレーションには Open Dynamics Engine (ODE) を用いており、各物体・エージェント間の相互作用をシミュレートする。力学計算をする必要がないエージェントについては、個別に力学計算をするかしないかを選択で

きるような構造になっており、計算コストの短縮を図ることができる。

2つ目の対象は知覚のシミュレーションである。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。視覚のシミュレーションでは、エージェントの視点・視野から得られる画像のピクセルマップを提供することができる。また、ピクセルマップだけでなく、物体の色・形・大きさ・位置等の特徴量情報、物体の名前、物体のID番号のような属性値を取得できるようになっている。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、音声データの送受信を行うこととした。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。視覚の場合と同じく、音データそのものの生情報を送信するだけでなく、音声認識された結果だけが送信される機能も選択可能である。力覚については主に ODE で計算されたオブジェクト間の力・トルク情報が取得可能である。また接触しているかどうかの判定による On/Off の触覚センサもシミュレート可能である。

3つ目の機能はエージェント同士のコミュニケーションである。ジェスチャ（運動制御によるジェスチャの送信+画像知覚による認識）や音声コミュニケーションが可能である。

関連するシステムとしてセカンドライフやオンライン RPG（ロールプレイングゲーム）等のシステムを基盤として構築された研究プラットフォームが存在するが、力学シミュレーションや知覚シミュレーションを行うことは困難な設計となっている。

★ cyber-physical インタフェース

さらに、仮想環境の中のエージェント同士のコミュニケーションだけでなく、仮想環境と実世界のユーザの間のインタラクションの機能も提供可能である。シミュレータに接続するためのクライアントシ

システムには基本 GUI (グラフィカルユーザインタフェース) に加え, 音声認識・音声合成・ヘッドマウントディスプレイ (HMD)・Kinect による動作認識器等のインタフェースが構築されており, GUI によって仮想エージェントとの間でコマンドを送受信したり, 音声対話を行ったりすることが可能である。

HMD としては, Vuzix 社の Wrap 1200 用のインタフェースを標準プラグインとして提供している。この HMD にはパン・チルト方向の頭部の傾きを検出するためのセンサが搭載されており, このセンサ情報を SIGVerse に伝達することで, アバターの頭部の動きも制御される。アバターの視点からの映像を HMD に投影することによりあたかもアバターとして仮想世界に没入しているかのような映像を提供することが可能である。

HMD による頭部の動きだけでなく, Kinect センサを設置し, その前でジェスチャ動作を行うことで, アバターの全身運動を制御することも可能であり, より臨場感の高いインタフェースを構築可能となっている。図-1 に HMD と Kinect を使用してロボットと対話をしているシーンを示す。

特徴的なのは, このようなクライアントシステムは Web ブラウザのように, 不特定多数のクライアントからサーバに対して接続可能になっている点である。ある 1 つの仮想世界に, 世界中から同時にアクセスし, 多数のユーザが操作するアバターがロボットと対話をするような環境を構築することで, 仮想的なネットワークロボット研究が実現できるようなソフトウェア構成となっている。

ロボカップ@ホームシミュレーションへの展開

本シミュレータの活用対象として, 現在ロボカップ@ホームシミュレーションを展開している。ロボカップ@ホームはリビングルームやキッチンなど, 自然な日常生活環境において人間と対話可能なサービスロボットを対象とした, 掃除や物の受け渡しなどのサービス行動の質を競う競技であり, 近年ではロボカップの中の主要なリーグのうちの 1 つを占

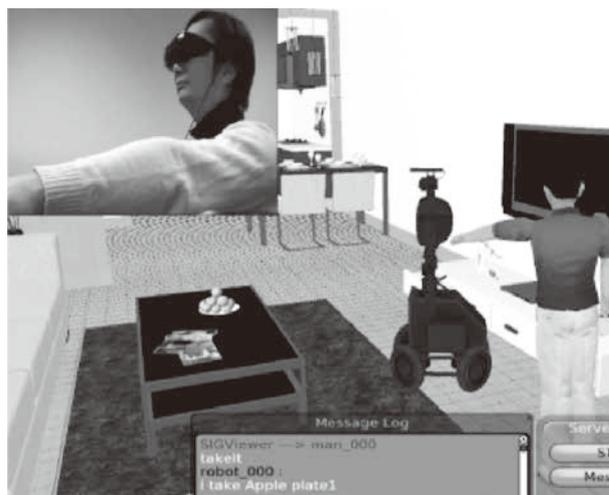


図-1 SIGVerse シミュレータ上での HMD とジェスチャインタフェースを用いた対話実験環境

めている。従来までのロボカップ@ホームは実機ロボットでの競技のみであったが, サッカーやレスキューと同様に, シミュレーションを行うことで, 人間とロボットのインタラクションの高度化などの開発コストを削減し, 効率的にロボットのソフトウェア開発を行うことが可能となる。実際, 現状のロボカップ@ホームでの競技対象となっているタスクは, 画像処理をして人間の動きに追従したり, 物体を把持して指定された場所に運ぶ行動など, 基本的なセンサ情報処理・パターン認識・運動計画・運動制御が占める割合が多い。本来であれば, このようなロボカップ@ホームは, 本特集が目指している人間とロボットがネットワークで接続された cyber-physical システムのアプリケーションとして最も好都合の題材である。それにもかかわらず, ロボットの基本性能の評価だけにとどまってしまっている側面があり, その理由は前述した実機ロボットのメンテナンス問題と大規模対話実験の困難性にある。この問題を打破するべく, 最初の段階として日本国内のジャパンオープン (2013 年 5 月開催) において, @ホームのシミュレーションが初めて実施されることとなった。シミュレーションには SIGVerse が採用されており, 最初のステップとして, リビング環境に置かれているゴミを発見し, ゴミ箱に捨てるという Clean UP タスクが競技対象として選択された。図-2 に Clean Up タスクの実験シーンを示す。

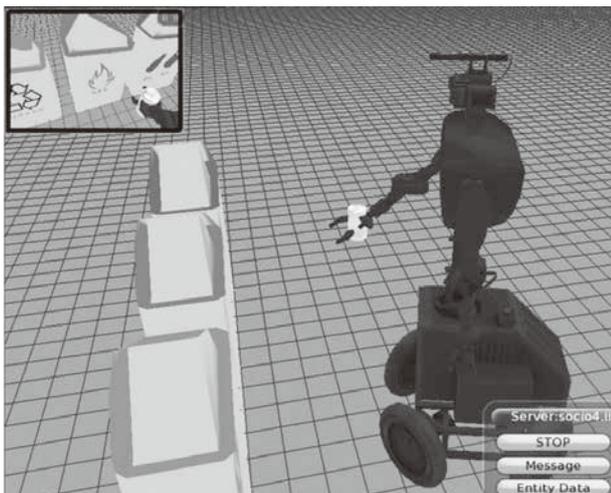


図-2 ロボカップ@ホームシミュレーションの Clean Up タスクの実施例

このタスクではまだ物体把持や行動計画などの基本的な機能の評価にとどまっているものの、今後の展開の計画として、人間から与えられた曖昧な指示内容を理解し、必要に応じて過去の経験を参照したり、人間に負荷のかからない質問や確認の仕方を学習するなど、高次の認知的機能を対象としたタスクを実施する予定である。このような認知的な行動を洗練させることは、人間と対話するネットワークロボットには必要不可欠な点である。

仮想世界における対話システムのポテンシャル

本稿では、大規模かつ長時間の社会的・身体的インタラクションを必要とするネットワークロボット研究を、膨大なコストをかけずに成立させるための研究プラットフォーム SIGVerse について説明した。また、没入型インタフェースを追加し、サーバに複

数のクライアントが接続できる性質を利用することで、限定的ではあるものの、実際のロボットに求められる認知的対話機能を実装・検証可能であることを示した。

本稿で取り上げた事例以外にも、ドライビングシミュレータにおけるマルチユーザシステム³⁾や、環境内で人間と対話しながら知識を獲得していく移動ロボットなどの研究でも実際に活用実績がある。また、スポーツの初心者に対してロボットがコーチとなって、言語表現と動作のデモンストレーションで動作コーチングするタスク⁴⁾などの応用例を検討している。

参考文献

- 1) Shiomi, M., Sakamoto, D., Kanda, T., Ishi, C. T., Ishiguro, H. and Hagita, N. : Field Trial of a Networked Robot at a Train Station, International Journal of Social Robotics, 3 (1) (2011).
- 2) Inamura, T. et al. : Simulator Platform that Enables Social Interaction Simulation --SIGVerse : SocioIntelliGenesis Simulator--, In IEEE/SICE International Symposium on System Integration, pp.212-217 (2010).
- 3) Bando, T. and Shibata, T. : Networked Driving Simulator based on SIGVerse and Lane-change Analysis According to Frequency of Driving, In The 15th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, pp.1608-1613 (2012).
- 4) 奥野敬丞, 稲邑哲也 : 動作コーチングロボットにおけるデフォルメ動作と注意的言語表現のスカラーパラメータによる統合手法, 計測自動制御学会論文集, Vol.48, No.7, pp.406-412 (2012).

(2013年4月19日受付)

稲邑哲也 inamura@nii.ac.jp

2000年東京大学大学院工学系研究科情報工学専攻博士課程修了。博士(工学)。国立情報学研究所/総合研究大学院大学情報学専攻准教授。言語と動作を用いた Human-Robot Interaction の研究等に従事。2013年船井学術賞受賞。