

大規模なマルチモーダル対話経験からの概念獲得を支援するクラウド型VRのアーキテクチャ

Architecture of cloud-based VR system
that supports concept acquisition from long-term multimodal interaction experience

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

1. はじめに

ヒトに近い適応的なコミュニケーション能力を有するロボットによる日常生活支援は将来的な様々な課題にむけたグランドチャレンジである。近年では原子力発電所の事故復旧作業に対応可能なロボット技術の要求などもあり、人間の日常生活から危険な極限状況での作業など、様々な場面でロボットの活躍が期待されている。しかしながら、現状のロボットの学術的・産業的最新技術を用いても、完全に自律型のロボットを作製することは不可能に近い。完全自律行動の実現が困難であるのは、事前に適切な行動プログラムを記述することが不可能であることと、人間のように柔軟に新しい環境・条件変動に対応する認識・判断の機能実現が困難であることが主要素として挙げられる。前者の問題については、人間とロボットがコミュニケーションを取りながら新しい知識を獲得する方向で解決し、後者の問題については、deep learningなどを始め、近年の計算機パワーの増大に伴う膨大な対話行動経験を利用した機械学習に期待が寄せられている。

この二つのアプローチを統合するような研究分野が創成されつつあり、実際のロボットと人間との対話経験の蓄積を行う試み [1] もあるが、膨大な時間とコストがかかるという問題から、その実現はなおも困難である。また、実機ロボットを作製/購入するための開発費や年単位の開発コストも必要であるため、周辺関連分野の研究者がロボットによる対話学習研究に参入をしたくても、簡単には踏み込めないという側面も存在していた。

解決の一つの方向性は、VRを用いたハードウェアの省略化による、対話経験の蓄積の高速化である。ただし、バーチャルリアリティの中のアバターにログインし、ユーザの運動がリアルタイムにアバターに反映され、臨場感のある感覚を体験するシステム [2] や、そのようなシステムを通じた人間同士の社会的行動を計測する試み [3] なども提案されているが、人間ロボット間の対話を実現する機能をもつシステムは皆無である。九州大の倉爪らは人間ロボットの双方が活動できるVRシステム [4] を構築しているが、クラウド型のシステムにはなっておらず、大規模なデータ収集の際には限界がある。

このような背景の中で稲邑らは、インターネット上のサーバにロボットのための仮想的対話環境を構築し、その仮想世界に実際の人間やロボット、もしくは身体を持たなくとも知能ソフトウェアモジュールが世界中からログインし、身体的・社会的経験を共有しながらその経験を共有可能なデータベースと

して構築・提供できる仕組みを実現してきた [5]。被験者は安価なヘッドマウントディスプレイや簡易運動計測装置を入出力デバイスとすることで、仮想アバターの視点に立って仮想環境内の仮想ロボットとのインタラクションを行い、ユーザの言動に対応するロボット知能の検証を効率化する手法を確立した。このシステムを用いることで、人間同士の対人行動に現れる視線やジェスチャ情報を含めたマルチモーダルな対話データ収集が可能となる。すなわち、対話行動の認知メカニズムをアルゴリズムレベルで解明するために必要となる、言語的・非言語的双方のデータ収集が可能で、そのデータからインクリメンタル学習によるオンラインの対話行動学習が可能となるシステムのフレームワークを実現することが、今後の研究の発展に有用となってくる。

ロボットとの対話経験を収集するためのシミュレータは、単に知能ロボットの研究開発コストを低減し、研究活動を促進させるという側面だけでなく、人間とロボットが対話を行う中で形成されていく知能の発達研究の根本を支えるプラットフォームとして幅広く機能していくという点に重要性がある。人間の子供がそうであるように、社会的な場で身体的運動・言語/非言語的対話に基づく経験を多く重ね、その経験から知識を獲得していくのが最も人間にとって自然でふさわしい知能の在り方である。知能ロボットのようなシステムが長時間・多数のユーザと大規模に対話を行い、そのような社会的身体的経験を蓄積・共有・活用するという知の構成に必要な「対話経験蓄積プラットフォーム」の実現に向け、本稿ではそのソフトウェア構成についての提案・展望を述べる。

2. クラウド型プラットフォームに求められる機能とシステム構成

冒頭で述べたような、膨大な量の対話経験から概念を創発させる研究プラットフォームが保有すべき機能は以下のようになる。

- クラウドで対話が収集でき、その経験データベースが共有できること
- 人間がVRでログインできること
- ジェスチャや音声など自然なインタラクションをVR内で実現可能なこと
- 仮想環境に自律ロボットのプログラムを投入できること
- ロボットのセンサーがエミュレートできること

- ロボットの動力的物理演算がシミュレートできること
- リアルタイムな人間の動作の反映のみならず、過去にログインした人間の行動を再現できること
- 異なる環境・人間の挙動を提示することが可能であること

これらの機能を実現するために、以下のようなサブモジュールが構築されている。

- 中央サーバー部 (Central Server)
- 通信サービスマネージャ (Interprocess Communication Manager)
- ユーザインタフェース部 (User Interface plug-in)
- データベースマネージャ (Database Manager)
- エージェントコントローラ部 (Agent Controller)

これらのサブモジュール間の関係を図 1 に示す。以下にそれぞれのサブモジュールについて詳細を述べる。

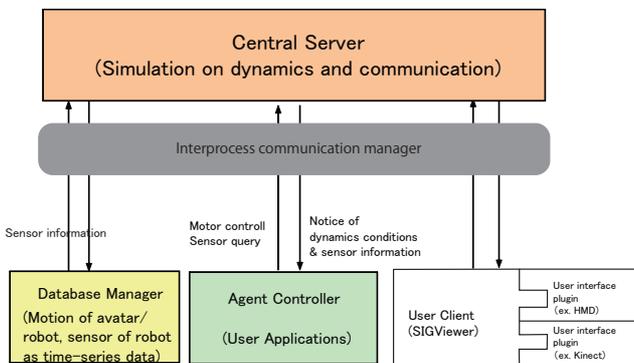


図 1: Software configuration of the SIGVerse system

2.1 中央サーバ部 (Central Server)

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、仮想環境に存在するロボットやアバター等のエージェントおよび家具や日用品などの物体オブジェクトの状態管理、それらの物理力学演算等が行われる。また、ユーザがサーバに接続し、下記に述べるロボットのプログラムの投入やユーザインタフェースの結果を集約する。中央サーバは Linux 上で動作し、動的にクライアントからの接続・切断要求に応える構成となっているため、マルチユーザによる大規模な社会的対話実験などを実現可能である。

2.2 エージェントコントローラ部 (Agent Controller)

本システムでは、ロボットやアバターなどをエージェントと呼ぶ。ロボットの自律行動やアバターの動作制御は C++ の API を用いてプログラムを記述し、それを中央サーバに投入することで実現する。後述するユーザインタフェース部と接続することで、アバターはプログラムされた通りに自律的に動作するだけでなく、リアルタイムにオペレータから与えられた指示に基づいて行動することも可能である。また、ロボットに搭載されたセンサの利用や他のエージェントとのコミュニケーションに関する API も準備されている。

すなわち、エージェントコントローラ部は、通常のロボットシステムでのメインプログラムを実行する部分と同等な位置づけである。

2.3 ユーザインタフェース部 (User Interface plug-in)

仮想世界の中のロボットと、実世界のユーザの間で社会的対話実験を遂行するためには、様々なモダリティに対応したユーザインタフェースが必要となる。

プラットフォームシステムとして機能するためには、安価で入手が容易なデバイスが有利であるため、本プラットフォームでは、三次元ヘッドマウントディスプレイとして Oculus Rift シリーズを標準サポートしている。また、ユーザの動作をアバターに転送するための動作計測装置として、Kinect シリーズ (Xtion を含む) および NatNet SDK に基づくモーションキャプチャシステム (VENUS 3D, OptiTrack 等) を標準サポートしている。図 2 に、典型的な仮想環境内での没入型インタフェースを用いたロボットとの対話実験風景を示す。

この他にも、ユーザが所有している動作計測装置に合わせたプラグインを作成し、システムに追加することで、仮想環境とのインタラクションを実現することが可能となっている。そのプラグイン作成のための SDK も公開している。

2.4 データベースマネージャ (Database Manager)

社会的・身体的対話経験の共有と活用を実現するためには、経験データの蓄積と参照機能がその根本となる。経験データの記録の際には、単にロボットが自身のセンサから入手したセンサデータだけでは不十分であり、その対話が行われた状況を再現可能なレベルでの記録が求められる。なぜならば、ロボットが過去の経験を振り返り、自身の行動戦略やセンシング戦略を検証する際には、センサデータのみでは過去の状況を再現不可能だからである。経験データとして必要となるのは、ロボットやアバターが存在するフィールド (部屋などの環境データ) を再現するための物体位置の時系列情報、ロボット・アバターの動作を再現するための運動データ (関節角度やロボットに送信されるモータコマンドの時系列データ)、およびロボットがセンシングした直接の数値の時系列データである。これらの時系列データは対話行動の 1 セッションごとに MySQL に基づくデータベースに格納される。実験の日時、参加したユーザの ID を始め、任意の文字列からなるタグ情報も時系列的に追記可能となっており、タグ情報などから経験の検索データを行うことも可能となっている。現在のところ、アバターの動作データの場合、約 1 万時間の長時間の行動が記録可能である。

2.5 通信サービスマネージャ (Interprocess Communication Manager)

上記の各種のサブモジュールは状況に応じて適宜増設していくこととなる。たとえばロボットが複数台存在すれば、ロボットの台数分エージェントコントローラがサーバ上に存在する。また、ユーザが複数人サーバに接続し、それぞれアバターを遠隔操作するようにログインする場合、ユーザインタフェース部のプロセスは人数分、クライアントマシンの上で動作することになる。これらのサブモジュールを有機的に結合し、通信路を確保するための通信サービス部が構築されている。

主に中央のサーバでは力学計算や物体の状態の管理を行っているが、負荷分散の役割も兼ねてカメラセンサや距離センサをエミュレートするプロセスは、別プロセスとして独立させてある。このプロセスをサービスプロバイダと予備、通信サービス部を解してエージェントコントローラと通信を行い、ロボットの自律プログラムはセンサ情報を取得することにな



図 2: A screen shot of typical interaction experiment between human and robot through immersive VR interface

る。すなわち、独自のセンサを持つロボットを構築したい場合には、そのセンサに対応したサービスプロバイダを作成することで、SIGVerse 上でのセンシングシミュレーションが可能となる。

3. 既存システム・ミドルウェアとの連携

現状、実機ロボットのソフトウェア・アプリケーションは ROS^{*1} や OpenRTM^{*2} などのミドルウェアを用いて記述されることが多い。そのため、それらのソフトウェアを SIGVerse の上で動作させるには書き直しが必要となる。ここで、ミドルウェアの重要な要素の一つはデータ通信のマネージメントであり、前述した SIGVerse の通信サービスマネージャを各ミドルウェアにブリッジすることで、互換性を保つことができる。

例として、ロボットエージェントを制御する SIGVerse コントローラと、ユーザの作成した ROS ベースの行動制御ノードの間を ROS の Topic で接続するような構成を図.2 に示す。

本機能はまだ公式なサポートの範囲外であるが、今後開発を進め公式リリースを行う予定である。

4. 応用事例

本プラットフォームは様々な場面で使われているが、ここでは、以下のプロジェクトの活用事例を挙げる。

4.1 記号創発ロボティクスへの展開

JST CREST「人間と調和した創造的協働を実現する知的情報処理システムの構築」における平成 27 年度発足課題「記号創発ロボティクスによる人間機械コラボレーション基盤創成」(研究代表:長井隆行)^{*3} において、本システムがプラットフォームとして活用されている。具体的には、ロボット自身が持つ物理的なセンサ情報から概念や言語の獲得を行う際、実世界のみならずサイバー世界で人間との対話を長時間・大規模に行うことで、学習・獲得プロセスの効率を上げ、知識の増強を行う計画である。

*1 <http://www.ros.org/wiki/>

*2 <http://www.openrtm.org/>

*3 <http://www.cis-trans.org/uec-crest1/index.html>

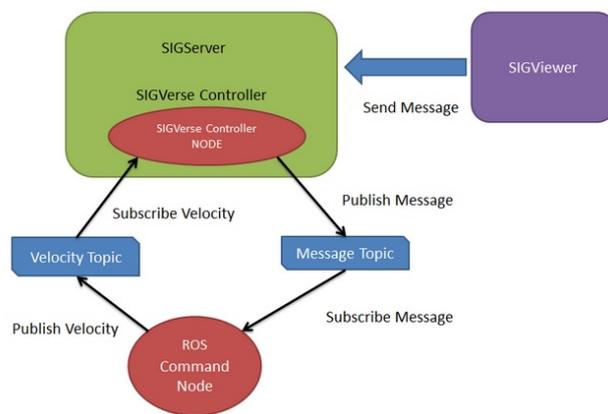


図 3: Application of ROS to the SIGVerse

4.2 NEDO 次世代人工知能共通基盤技術の開発

NEDO「次世代ロボット中核技術開発」における「次世代人工知能共通基盤技術の開発」において平成 27 年度に「社会的身体性知能の共有・活用のためのクラウドプラットフォーム」(研究開発責任者:稲邑哲也)が採択された。産総研の人工知能センター拠点において、サイバーフィジカルシステムを介した知能ロボットの学習・自然言語処理と実世界情報との統合などの研究に活用される予定となっている。

4.3 RoboCup@Home Simulation への展開

2013 年から、RoboCup@Home 競技におけるシミュレーションシステムとして、本プラットフォームが採用されている [6][7]。実機ロボットを用いた人間との対話に基づく実世界行動知能の検証の試みは重要であるものの、従来までの RoboCup@Home では、実世界で行動することが求められることから、どうしてもロボットのハードウェアプラットフォームの開発や、ロバストなセンシング・パターン認識技術に重点が置かれがちであった。曖昧な人間からの指示の解釈や状況に適応した対話戦略など、高次の対話知能に焦点を当てた競技の重要性が指摘されながらも、その実現が実機競技会という制約から困難であった。そこで、2016 年のジャパンオープンと呼ばれる大会^{*4}では、仮想環境内において実際の人間が操作したアバターと競技者が作成したロボットのプログラムが対話的にタスクを行う新しい形の競技が実施され、その有効性が確認されている。

5. おわりに

本稿では、知能ロボット研究における、社会的・身体的経験の共有と活用の重要性を述べ、それを実現するためのプラットフォームに求められる機能とシステム構成について議論した。また、それが活用されている事例を通じて、その有用性を示した。

今後は上記のプロジェクト以外にも、一般の対話型知能ロボット研究に対して貢献ができるよう、コミュニティの形成やハッカソンなどの企画を検討している。詳細情報については、<http://www.sigverse.org/> を参照されたい。

*4 <http://www.ait.ac.jp/robocup2016/>

参考文献

- [1] Emanuele Bastianelli, Giuseppe Castellucci, Danilo Croce, Luca Iocchi, Roberto Basili, and Daniele Nardi. Huric: a human robot interaction corpus. In *Proceedings of the Ninth International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC'14)*, pp. 4519–4526, 2014.
- [2] Franco Tecchia, Giovanni Avveduto, Raffaello Brondi, Marcello Carrozzino, Massimo Bergamasco, and Leila Alem. I'm in VR!: using your own hands in a fully immersive MR system. In *Proceedings of the 20th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, pp. 73–76, 2014.
- [3] Hui Zhang, Chen Yu, and Linda B. Smith. An interactive virtual reality platform for studying embodied social interaction. In *Proc. of Annual Conference of the Cognitive Science Society*, pp. 23–26, 2006.
- [4] ピョコンソク, 辻徳生, 橋口優香, 倉爪亮. 情報構造化環境における没入感 vr インタフェースの開発. *日本ロボット学会誌*, Vol. 33, No. 8, pp. 651–654, 2015.
- [5] Tetsunari Inamura. Simulator platform that enables social interaction simulation –SIGVerse: SocioIntelliGenesis simulator–. In *IEEE/SICE International Symposium on System Integration*, pp. 212–217, 2010.
- [6] Tetsunari Inamura, Jeffrey Too Chuan Tan, Komei Sugiyura, Takayuki Nagai, and Hiroyuki Okada. Development of robocup@home simulation towards long-term large scale hri. In *Proc. of the RoboCup International Symposium*, 2013.
- [7] 稲邑哲也, タン ジェフリートウチュアン, 萩原良信, 杉浦孔明, 長井隆行, 岡田浩之. 大規模長時間のインタラクションを可能にするロボカップ@ホームシミュレーションの構想とその基盤技術. *知能と情報*, Vol. 26, No. 3, pp. 698–709, 2014.