

論文の内容の要旨

論文題目 ネットワーク型パーソナルロボットシステム構築法の研究

氏名 関口 大陸

近年、ヒューマノイドやペットロボット、介護ロボット等のパーソナルな人間協調・共存型ロボットが人気を博している。人間協調・共存型ロボットという名前自身が表しているように、ロボットが活躍するフィールドも、工場のラインなど、ロボットが旧来多く使用されてきた場所から、我々が普段生活している空間など、より身近な場所へシフトしつつある。

大学の研究者や通商産業省（現経済産業省）などによりまとめられたアールキューブ構想も、近年見られるロボットのパーソナル化への流れの中で、ロボットを社会の中で広く利用できるようにするための一つのアプローチとして捉えることが出来る。アールキューブ (R³) の名前は、Real-time Remote Robotics（実時間遠隔制御ロボット技術）の頭文字からつけられており、R-Cubedとも表記する。アールキューブ構想は、家庭やオフィス、公共の場所など、我々の生活する社会の各所に、自由にアクセスできるロボットを配置し、電話をかけるかのような気軽さで、遠隔のロボットをあたかも自分の分身であるかのように扱う、すなわち遠隔にテレグジスタ (Telexist) 可能とすることを目指す構想である。アールキューブ構想では、テレグジスタンス (Telexistence) をキーとなる技術として用い、遠隔にあたかも自分が存在し、遠隔のロボットが自分の分身であるかのように行動することが可能である。

アールキューブ構想に関連する研究開発の一つとして、人間協調・共存型ロボットシステム研究開発プロジェクト (HRP: Humanoid Robotics Project of MITI) における HRP 遠隔操作プラ

ットフォームの研究があげられる。HRP 遠隔操作プラットフォームの研究において、人間型 2 足歩行ロボットをテレグジスタンスにより遠隔操作可能なスーパーコックピットが開発された。スーパーコックピットは、9 面の包囲型ディスプレイや外骨格型 7 自由度双腕マスタアームなどによって構成された特別なシステムであり、アールキューブ構想においては、トップダウンのアプローチとして位置付けられる。

本論文では、アールキューブ構想におけるボトムアップアプローチとして、パーソナルなロボットネットワークシステムの構築手法を確立することを目的とする。すでに存在する PC などの既存デバイスやインターネットなどの既存ネットワークインフラを活用することにより、誰もが、自由に、何時でも何処でも、気軽に使用できるパーソナルなシステムの構築を目指す。

本論文は 6 章からなる。第 1 章では、研究の目的および背景について説明している。

第 2 章では、アールキューブ構想におけるボトムアップアプローチのフレームワークとして、アールキューブ操作言語 (RCML: R-Cubed Manipulation Language) の設計を行った。新たな RCML システムを設計するに当たって、以下に示す要求仕様を満たすべきことを、最初に明らかにした。

- パーソナルなシステム
- 遠隔ロボット制御に最適な設計
- フレームワークとして機能

まず、上記要求を満たすためモデルとして、Self-Descriptive Remote Memory (SDRM) モデルの提案を行った。SDRM モデルは、Remote Memory Access モデルとイントロスペクション性を組み合わせたモデルであり、インターネットのような結合が疎であるようなネットワークに適した方法である。

次に、提案した SDRM モデルに基づき、新たな RCML システムの設計を行った。新たに設計した RCML 2.0 システムは、遠隔ロボットの記述言語である RCML 2.0 と通信プロトコル RCTP/2.0 (R-Cubed Transfer Protocol) および GUI (Graphical User Interface) を定義する RXID 2.0 (RCML Extensible Interface Definition) からなる。

RCML 2.0 システムでは、まず、ロボットの制御を各ロボットが持っている変数へのアクセスと抽象化することで、SDRM モデルに基づいた設計となるようにした。ロボットが持っている変数は、ロボットの各軸に対応づけられており、ネットワークを経由してこれらの変数を書き換えることにより遠隔制御を行う。変数集合の定義は、RCML 2.0 の記述によって行われ、制御に必要な情報の自己記述としてイントロスペクション性を実現する。一方、RCTP/2.0 がネットワークを介して変数集合へのアクセスするためのプロトコル、すなわち Remote Memory Access を実現するプロトコルとして機能する。さらに、ユーザインタフェースを定義するための言語である RXID 2.0 を新たに導入し、多様な使用形態への対応を図った。ユーザインタフェースに関する情報はすべて RXID 2.0 で記述することにより、RCML 2.0 は、純粋に制御情報を記述する

ための言語としてのみ使用され、ユーザインタフェースと制御情報の記述の分離が成し遂げられた。RXID 2.0 で定義されるユーザインタフェースの各要素と、RCML 2.0 で定義される変数集合は、RXID 2.0 ファイルから RCML 2.0 ファイルへの一方向リンクで結び付けられる。一方向リンクとすることで、RCML 2.0 ファイルの独立性が高められ、RXID 2.0 ファイルに対する変更や、新たな RXID 2.0 ファイルの作成を行った場合でも、もとなる RCML 2.0 ファイルを変更する必要がない。一方向リンクを活用することにより、一つのロボットに対して複数のユーザインタフェースを同時に定義する事などが可能であり、多様な使用形態への対応が容易になる。RCML 2.0 および RXID 2.0 は、共に XML (Extensible Markup Language) に基づく言語とすることで、言語としての記述の容易性や拡張性等の獲得を目指した。

第3章では、設計の検討として、新たな設計に基づいた RCML 2.0 システムの実装を行った。RXID 2.0 の一方向リンクを活用することにより、クライアントとして PC に限らず、画面サイズや使用できるリソースが異なる PDA (Personal Digital Assistant) や携帯電話などにもシームレスに対応できることを示した (画面表示例：図1)。

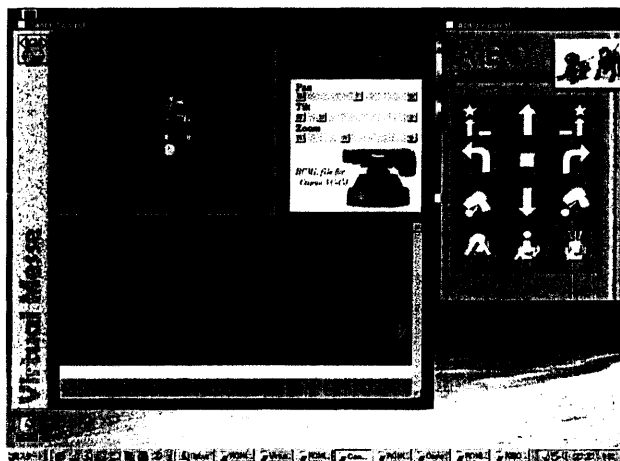


図1 画面表示例

第4章では、パーソナルロボットが人間へのインタフェースとして機能するという視点に基づき、ロボティックユーザインタフェース (RUI: Robotic User Interface) の概念を提唱し、ネットワーク環境におけるロボティックユーザインタフェースについての考察を行った。レイグジスタンスは、マスターロボットが操作者に対するインタフェースとして働くのみではなく、スレーブロボット自身がスレーブロボットの周りにいる人に対するインタフェースとなることから、ネットワーク環境におけるロボティックユーザインタフェースであるといえる。しかしながら、従来のレイグジスタンスの実装では、操作者への高度な臨場感の提示を前提にした手法であるため、臨場感の計測、伝送、提示を行う部分でハードウェア及びソフトウェアの負担が高くなる傾向がある。そこで、ボトムアップアプローチにおける最適なレイグジスタンスの実装として、「オブジェクト指向型レイグジスタンス」の提案を行った。オブジェクト指向型レイグジス

タンスは、遠隔環境をユーザの周囲に再構成するのではなく、遠隔ロボットそのものをユーザの手元に再構成する事により、より簡便にかつ直感性は維持しつつ、遠隔ロボットの制御を行うことを目指した手法である。さらに、提案したオブジェクト指向型レイグジスタンスの手法に基づき、ネットワーク環境におけるパーソナルなロボティックユーザインタフェースの一例として、RobotPHONE の試作を行った。RobotPHONE は、ロボティックユーザインタフェースを介して、遠隔地とのコミュニケーションを行うためのシステムである。RobotPHONE では、形状共有デバイスと呼ばれる、オブジェクト形状の同期を常に行うデバイスを用いることにより、遠隔地との形状の共有を図り、遠隔地とのインタラクションを可能とする(試作したデバイス:図2)。



図2 試作したデバイス

第5章では、RCML 2.0 システムと、ネットワーク環境におけるロボティックユーザインタフェースの統合に関する議論を行った。設計した RCML 2.0 システムでは、ネットワークの両端がともにロボットであるようなマスタスレーブシステムをそのままでは扱えないため、新たに RCML コーディネータの概念をシステムに導入した。試験的実装により、設計の確認を行い、シームレスな統合が図られていることを示した。

第6章では、本論文の総括を行った。

本研究では、提案した SDRM モデルに基づいた RCML 2.0 システムの設計を行い、設計したシステムがネットワーク型パーソナルロボットシステムを実現する為のフレームワークとして機能することを示した。また、パーソナルなネットワーク環境における最適なロボティックユーザインタフェースを実装するための手法として、オブジェクト指向型レイグジスタンスの概念を示し、試験的な実装により手法の有用性を明らかにした。さらに、RCML コーディネータの導入により、RCML 2.0 システムとロボティックユーザインタフェースのシームレスな統合を実現した。