

日常活動型ロボットRobovie 開発の現状と将来展望

Present status and future view of development of everyday robot Robovie

石黒 浩^{*1*2}
Hiroshi Ishiguro

神田 崇行^{*2}
Takayuki Kanda

^{*1} 大阪大学知能機能創成工学専攻
Dept. of Adaptive Machine Systems, Osaka University

^{*2} ATR 知能ロボティクス研究所
ATR Intelligent Robotics Laboratories

Many robotics researchers are exploring new possibilities of intelligent robots in our everyday life. Interactive robots, which have various modalities, can communicate with humans as new information media. In this paper, we argue a constructive approach to developing interactive humanoid robots. Cognitive scientists and robotics engineers work together in this project.

1. はじめに

ロボットは工場内で特定の作業を行う目的指向の機械から、人間の日常生活の場において、コミュニケーションを支援し、コミュニケーションを通して目的を発見する目的創発型の機械へと発展しつつある。その中でも人間の様な体をもったヒューマノイドロボットは、人間に理想的なインターフェースとして注目されている。

しかしながら、研究課題も多く残されており、特に、ロボットと人間間での自然で円滑なコミュニケーションは未だ実現されていない。これまでもこの自然なコミュニケーションを目指して、音声対話ロボット、複数話者対話ロボット、幼児とその介護者のような相互作用を実現するロボットなどが開発されてきた。しかし、これらの研究をさらに進め、どちらか一方が命令を与えるという主従関係ではなく、ロボットと人間の間に対等の立場での双方向のコミュニケーションを実現する必要がある。

このようなロボットの開発においては、知能のとらえ方を考え直す必要がある。従来の知能ロボット研究は、ロボットの内部の計算機構に知能の源を探ろうとしてきた。しかし、むしろその「賢さ」は環境との相互作用から生まれていると考える。すなわち、知能とは、人間とロボット、人間と環境の複雑な相互作用を第三者が観測し主観的に感じるものであり、相互作用にこそ、知能の源がある。我々のこれまでの研究においても、コミュニケーションにおける「関係性」の重要性が明らかになっている[Ono 2000]。つまり、同じ音声信号であっても、2個体間に関係が構築されているとき（互いにコミュニケーションの対象とみなしているとき）はその音声を理解できるが、この関係が構築されていないときは理解できない。このように、人と円滑にコミュニケーションする日常活動型ロボットを実現するためには、相互作用と関係性を重視した設計が必要である。

ATR 知能ロボット研究所では、このようなコミュニケーション研究のプラットフォームとして、日常活動型ロボット Robovie の開発を 1998 年から手がけてきた。Robovie は身体表現のために人間と同様に動く頭部や腕を持ち、擬人化しやすい外見と、豊富なセンサを搭載している。また、相互作用機能を容易に実現するための知能ロボットアーキテクチャに基づきソフトウェアが実装されている。本稿では、Robovie の開発とその将来展望について述べる。

2. 構成論的アプローチ

コミュニケーションロボットの開発にあたって、我々が取ったアプローチは、利用可能なセンサとアクチュエータからできるだけ

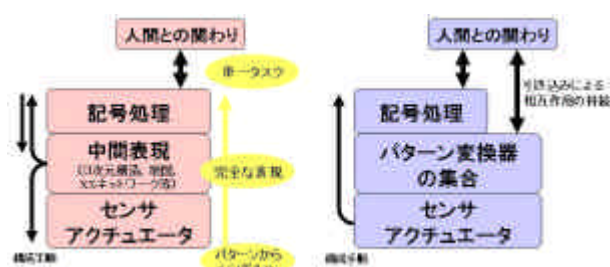


図1 構成論的アプローチ

数多くのロボットの振る舞い (behavior) を作りだし、さらに、その behavior 間の可能な関係を記述するというボトムアップのアプローチである。

図1はこのようなボトムアップのアプローチ(左)と古典的アプローチ(右)の比較を示す。従来のロボットや知的システムは、地図や幾何モデルに代表される中間表現をまず仮定し、その中間表現を得るためのセンサ情報の実装方法を考案し、同時に、中間表現の上に、記号処理系を実現してきた。しかしながら、この構成方法では、中間表現が不完全であったり、獲得不可能なものであれば、システムは構成できない。実際に、ロボットのセンサとして使える画像処理技術や音声認識技術は非常に限られたものである。

これに対し、我々のアプローチは、まず利用できるセンサとアクチュエータから、特定の状況において、特定のタスクを実行する behavior モジュール (これを特に状況依存モジュールと呼ぶ) を多数準備する。すなわち、プログラム可能な behavior という単位がシステム構成の核となる。この多数の behavior を核として、さらには、その behavior 間の可能な関係を記述し、徐々にシステム全体として首尾一貫した動作を実現するよう開発を重ねる。我々はこのプログラム可能な単位を構成要素として逐次的にシステムを逐次的に積み上げるアプローチを、構成論的アプローチと呼ぶ。

構成論的アプローチによって実現されるシステムは、特にコミュニケーションロボットにおいては、behavior の豊かさが人間との切り離せない関係を気づき、その上でロボットは記号処理系を通じた人間に対するタスクを実行する。一方で、古典的アプローチでは、中間表現上に構成される記号処理系が実現する正確に実行可能なタスクによって、人間との関係を維持することが多い。

3. 人間と相互作用するロボット

人間と相互作用できるロボットに関する研究は数多く行われている[7,8]。しかし、これらの研究の焦点は、個々のサブシステム(認識や学習)を改善することにある。一方で、実世界で人間と相互作用しながら行動するロボットにとっては、如何に多数の行動を実装し、よ豊かな相互作用を実現するかが重要である。多数の行動が作り出す人間-ロボット間の複雑な関係は、人間に知的な印象を人に与え、その相互作用に人間を引き込む効果がある。Robovieの開発における目標は、単純な自動的な機械を越えて、心を持って生きていとも感じられるほどに、ロボットに多数の行動を実装することである。

実際に、十分な身体表現能力とセンサを持つインタラクティブな人間型ロボットRobovieに40の行動と400の行動間の関係を実装した際には、人の対人的行動や自発的な発言を観察することができた[神田 2002b]。また、そのような対人的行動は研究室における実験以外でも数多くの展示会において、子供とロボットの間においても観察された。現在、実装された行動の数は100を越えている。我々は、これがロボットと人間の関係、さらにはロボットの知能を議論する出発点であると考えている。

3.1 認知科学的実験に基づく知見の利用

Robovieの人間と相互作用するための行動は認知科学的知見を基に設計している。Robovieのプログラムに先立って、Robovieを用いて、これまでに認知科学の立場から人-ロボットコミュニケーションに関する実験を幾つか行っており[小野 2001, 今井 2001]。このような実験から

1. ロボットが豊かなジェスチャを行うことで、人間の無意識の行動が発現する。
2. 注意を表現するジェスチャにより、人間の注意がロボットの注目点に向く。
3. ロボットが人間と視線を合わせることで、ロボットのコミュニケーション意図が伝達する。
4. 人間とロボットとの共通の視点や、対象物との適切な位置関係を作る。

といった知見が得られているが、このような知見をもとにロボットの行動をプログラムすることで、ロボットの発話理解を容易にし、ロボットと人間との間の自然なコミュニケーションが実現できている。

3.2 状況依存モジュールに基づく自律行動の実装

上記のロボットの行動は、状況依存モジュール(situated module)のネットワークによって構成されるアーキテクチャ上に実装している[神田 2002b, Ishiguro 2003]。基本的には、ビヘービアに基づくアーキテクチャと呼ばれる従来のものと同様であるが、ビヘービアに相当する個々の状況依存モジュールの内部設計と、状況依存モジュールが漸次的に実装できるよう工夫されている点が異なる。状況依存モジュールは、従来のビヘービアを実現するセンシングと行動を決める記述以外に、コミュニケーションユニット(communicative unit)と呼ぶ、人間との相互作用を円滑に行うための要素行動に関する記述を含む。コミュニケーションユニットは、認知科学的実験から得られた知見に基づいて設計されるもので、具体的には、視線を合わせる、物の方を見る、物を指さすといったコミュニケーションの基礎となるロボットの振る舞いを実現する。

状況依存モジュール間の関係、すなわちそのネットワーク構造は、エピソードルールによって記述されている。実行される一連の状況モジュールのシーケンス(2から10の状況依存モジ

ールからなるシーケンス)をエピソードと呼ぶが、エピソードルールは1つ以上の過去に実行されたモジュールとその返り値を条件に、その条件が満たされるときに実行可能なモジュールまたは実行不可能なモジュールを定義するルールである。このエピソードルールにより、実行不可能なモジュールを定義する否定的エピソードにより、「してはいけないこと(禁止事項)や、過去の行動履歴と首尾一貫するコンテキストを持った行動も肯定的エピソードを記述することができる。

4. 今後の展望

Robovieの開発の目的は、長時間利用可能なハードウェアを元に、これまでのソフトウェア技術によりできるだけ豊かに人と対話できるロボットを実現し、その後、コミュニケーションロボットに必要な新たな技術を模索することである。その意味で、ある程度動作可能なロボットが実現できた今が、本当の研究の出発点である。

これまでの開発においても、理屈がわかっていながらも、その動作の豊かさ故に驚くことは多々ある。また一方でそれらの驚きをもたらすロボットの行動は、時間とともに急速に当たり前のものに見えてくる。例えば、人間がロボットの体の一部に触れたとき、その場所をロボットが首を振ってみる動作は、最初、予想以上の生々しさを与えるが、しばらくすれば、人間と同様当然の動作として受け止められる。このような人間らしい振る舞いこそがコミュニケーションロボットにとって重要と考えている。

よ豊かなロボットの動作を作り出すために、現在は特に、柔らかく高感度な皮膚センサの開発と、それに基づくビヘービアの開発や、大量のセンサ情報を実時間で利用するための、状況依存情報処理について研究を行っている。

謝辞

本研究の一部は通信・放送機構の研究委託により実施したものである。

参考文献

- [Ono 2000] Ono, M. Imai, R. Nakatsu, Reading a robot's mind, a model of utterance understanding based on the theory of mind mechanism, *Advanced Robotics*, Vol.14, No.4, pp.311-326, 2000.
- [小野 2001] 小野哲雄, 今井倫太, 石黒浩, 中津良平, 身体表現を用いた人とロボットの共創対話, 情報処理学会論文誌, Vol.42, No.6, pp.1348-1358, 2001.
- [今井 2001] 今井倫太, 小野哲雄, 石黒浩, 身体表現を用いたロボットの発話生成, 第13回人工知能学会 AI チャレンジ研究会資料(JSAI SIG-Challenge-0113), pp.9-16, 2001.
- [神田 2002a] 神田崇行, 石黒浩, 小野哲雄, 今井倫太, 前田武志, 中津良平, 研究用プラットフォームとしての日常活動型ロボット"Robovie"の開発, 電子情報通信学会論文誌 D-I, Vol.J85-D-I, No.4, 2002.
- [神田 2002b] 神田崇行, 石黒浩, 小野哲雄, 今井倫太, 中津良平, 人間と相互作用する自律型ロボットRobovieの評価, 日本ロボット学会誌, Vol.20, No.3, 2002.
- [Ishiguro 2003] 1. H. Ishiguro, T. Ono, M. Imai, T. Kanda, Development of an interactive humanoid robot "Robovie" - An interdisciplinary approach, R. A. Jarvis and A. Zelinsky (Eds.), *Robotics Research*, Springer, pp. 179-191, 2003.