

学位論文題名

Studies on the Non-Cartesian Design Methods of Robots
and Their Implementation

(非デカルト的ロボット設計理論とその実現に関する研究)

学位論文内容の要旨

近年、人工生命あるいは複雑適応系の知見を利用して、従来の人工知能では構成することが困難であったロバストな行動能力を持った自律ロボットの構築技術およびその実現手法について盛んに研究がおこなわれるようになってきている。

従来の人工知能をベースとした自律ロボット構築におけるアプローチでは、まず第一に構築しようとするロボットがおかれる環境をモデル化するとともに、必要とされる自律性を鑑みて、想定される環境情報の有り様すべてに対応した行動計画をモデル化する。さらに、この行動計画モデルにしたがって、ロボットそれ自体の身体機能を働かせるための運動計画のモデル化を行っていた。以上、大まかに3つに大別されるモデル化手続き、すなわち、環境情報のモデル、行動計画のモデル、運動計画のモデル、をそれぞれ独立にかつ詳細に取り扱うこと、実機上の実現においてはこれらのモデルの逐次的な処理を行うことによって優れた自律ロボットを構築・実現できると考えられてきた。

しかしながら、近年このようなアプローチに立って構築されたロボットの行動能力に対するロバスト性の欠如が盛んに指摘されるようになり、ロボット構築におけるアプローチそのものの見直しが図られてきている。すなわち、従来のアプローチでは、環境のモデル化を通して、設計者はロボットに起き得るすべての状況を考察することが可能という前提条件に立っていた。しかしロボットが行動する実空間は、多分に複雑でありかつ動的であり、静的なモデルとして捕らえることが出来ないものであることを指摘できる。同様に行動計画のモデルおよび運動計画のモデルにおいても、ロボットそれ自身が本質的に持つ複雑性と動的性に対する考慮なしには、実空間において要求される自律性とロバスト性を付与することが出来ないことを指摘できる。以上のことから、従来のロボット設計に対するアプローチは、換言するに、デカルト的視点から出発しているものであり、それゆえ本質的に静的で設計者が予め予見可能な世界内、すなわちトイワールド、のみでしか行動できないものであることを指摘できる。

本論文は、以上の問題点を踏まえ、トイワールドに留まらない実空間内でロバストに行動し続ける自律ロボットの構築手法の理論とその実現についての研究成果をまとめたものである。すなわち、自律ロボット構築の出発点として、本質的に非デカルト的視点に立つことの必要性を議論し、新たなアプローチとして同様に非デカルト的視点に立った人工生命および複雑適応系的手法を用いて自律的ロボットを構築するための理論を述べている。また実機上への様々な

インプリメンテーションに関する研究結果を示しており、理論に関して7章から構成される1部と、インプリメンテーションに関して9章から構成される第2部よりなる。

第1部は自律ロボットの非デカルト設計手法に関する理論を述べたものであり、以下の6章から成る。

第1章は序論であり、本研究の背景およびロボット構築における全般的な課題について述べている。

第2章では、人工生命および複雑適応系における関連研究をまとめ、SSAに代表される非デカルト的アプローチにおいて必要とされる構築手法を概観している。

第3章では、人工知能をベースとして行われた従来のデカルト的アプローチの問題点をプログラミング手法、デカルト的モデル化手法の限界、柔軟性とロバスト性についてそれぞれ指摘している。

第4章では、非デカルト系ロボット構築手法の基本原則についてまとめ、本質的平行処理性の必要性および適応性が基本となることを述べている。

第5章では、非デカルト系ロボットとして必要とされる諸特性、すなわち、柔軟性、ロバストネス、実現上の経済性、行動の進化適応性、等についてまとめている。

第6章では、複雑適応系の諸理論を取り入れた、様々な構築手法について言及し、非デカルト系ロボット構築における理論についてまとめている。とくに本理論では、設計者が予め予見できない非デカルト環境でロボットが行動しなければならない要件を満たすために、複雑適応系で見られる進化手法をロボットの構成基本原則に組み入れることによって、前章で議論された諸特性を後天的に獲得し続ける自律ロボットを実現できることを明らかにしている。この際、特に環境の状況(situated)と身体性(embodied)の概念が重要であるとの知見を得ている。

第2部は第1部においてまとめた理論を応用して、各種ロボットの実現についてまとめたものであり、以下の9章より構成されている。

第1章は、序論であり背景と目的について述べている。

第2章は、一般的なハードウェア構成原理についてまとめている。

第3章より第6章まで、実機実現における基本的例として、多足歩行ロボット、動的障害物回避、動的行動選択機構、メッセンジャーロボット、の構築について、設計指針、ハードウェア構造の構築、ソフトウェア構造の構築といった、様々な角度からそれぞれの実現手法の検討、実験結果とその結果をまとめており、提案手法の非デカルト的アプローチの有効性を確認している。

第7章および第8章は、より工学的応用を目的とした自律移動ロボットおよび知的車いすの構築例を取り上げ、その設計要件から非デカルト的アプローチによる構築方法および実機の性能評価結果についてまとめている。特に知的車いすの構築においては、身体的ハンディキャップを持つ人々に対して、自律ロボットが果たすことが出来ると期待される役割について言及し、その一例として本章の車いすロボットが位置づけられること、そしてこの車いすロボットの幾つかのプロトタイプ設計とその性能評価をとおして、ハンディキャップを支援するために構築される自律ロボットに必要とされる諸特性についての知見をまとめている。

第9章は本研究の結論であって、得られた結果を総括している。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 嘉 数 侑 昇
副 査 教 授 宮 本 衛 市
副 査 教 授 土 谷 武 士
副 査 教 授 和 田 充 雄

学 位 論 文 題 名

Studies on the Non-Cartesian Design Methods of Robots and Their Implementation

(非デカルト的ロボット設計理論とその実現に関する研究)

近年、人工生命あるいは複雑適応系の知見を利用して、従来の人工知能では構成することが困難であったロバストな行動能力を持った自律ロボットの構築技術およびその実現手法について盛んに研究がおこなわれるようになってきている。

従来の人工知能をベースとした自律ロボット構築におけるアプローチでは、まず第一に構築しようとするロボットがおかれる環境をモデル化するとともに、必要とされる自律性を鑑みて、想定される環境情報の有り様すべてに対応した行動計画をモデル化する。さらに、この行動計画モデルにしたがって、ロボットそれ自体の身体機能を働かせるための運動計画のモデル化を行っていた。以上、大まかに3つに大別されるモデル化手続き、すなわち、環境情報のモデル、行動計画のモデル、運動計画のモデル、をそれぞれ独立にかつ詳細に取り扱うこと、実機上の実現においてはこれらのモデルの逐次的な処理を行うことによって優れた自律ロボットを構築・実現できると考えられてきた。

しかしながら、近年このようなアプローチに立って構築されたロボットの行動能力に対するロバスト性の欠如が盛んに指摘されるようになり、ロボット構築におけるアプローチそのもの見直しが図られてきている。すなわち、従来のアプローチでは、環境のモデル化を通して、設計者はロボットに起き得るすべての状況を考察することが可能という前提条件に立っていた。しかしロボットが行動する実空間は、多分に複雑でありかつ動的であり、静的なモデルとして捕らえることが出来ないものであることを指摘できる。同様に行動計画のモデルおよび運動計画のモデルにおいても、ロボットそれ自身が本質的に持つ複雑性と動的性に対する考慮なしには、実空間において要求される自律性とロバスト性を付与することが出来ないことを指摘できる。以上のことから、従来のロボット設計に対するアプローチは、換言するに、デカルト的視点から出発しているものであり、それゆえ本質的に静的で設計者が予め予見可能な世界内、すなわちトイワールド、のみでしか行動できないものであることを指摘できる。

本論文は以上の問題点を踏まえ、従来のデカルト的設計論に代わって人工生命あるいは複雑適応系といった、動的世界を非デカルト的視点からとらえたアプローチの利用が有効であるとの視点に立ち、自律的な実ロボットを構築するための方法論の提案と様々な実ロボットの实现手法を示したものであり、その主要な成果は次の点に要約される。

1. 人工知能理論をベースとするようなデカルト的視点に基づいた従来のロボット設計手法について制御機構、インプリメンテーション技法といった様々な面において、動的世界を対象とした場合における限界を指摘し、代わって本質的に非デカルト的視点から出発する人工生命および複雑適応系の理論をベースとする必要性があることを明らかにしている。
2. 人工生命および複雑適応系の諸理論を用いたロボット設計手法として、実ロボット開発を行うための必要要件、状況性と身体性といった考慮すべき規範、およびデザイン改良サイクルの実行方法についての検討結果をまとめ、その定式化を行っている。
2. 自律性とロバスト性を具現化する上で根幹となる行動選択メカニズム、学習メカニズムに関する理論の实现方法を示すと共に、特に自律ロボットの開発を行う上で不可欠なデザイン改良サイクルそのものをロボット自身に行わせる方法論として、進化型計算手法を用いて实现する手法を提案し、進化型多足歩行ロボットの開発を通してその有効性を確認している。
3. 提案した設計手法に基づき開発したロボット群の基本行動能力、すなわち動的障害物行動回避や状況に応じた動的行動選択能力についてその有効性を確認していることに加え、不特定多数の人間とのインタラクションを交えたタスク遂行を行う、メッセージャーロボット、自律AGV、知的車椅子といった従来のロボット設計手法では实现が極めて困難であったロボットを实现している。

これを要するに著者は、非デカルト的手法に基づいたロボット設計理論を展開するとともに、ロバストで柔軟な行動能力を持った様々な自律ロボット实现のための設計・实现方法に関して提案を行い、かつ実機作成による実証を通して多くの新知見を得ており、情報工学、知識工学、ロボット工学の進歩に寄与するところ大である。よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。