

学位論文題名

動的環境における自律移動ロボットの
知識獲得及びナビゲーションに関する研究

学位論文内容の要旨

医療福祉機器等の生産のような多品種少量生産にならざるをえない現場では、いわゆる産業用ロボットのような単なる繰り返し機械よりも、作業環境や作業内容などの変化に柔軟に対応できる「自律ロボット」の方が望ましく、これまで多くの研究者が様々なアプローチでその実現を試みてきた。本論文は自律ロボット、とりわけ動的世界に存在する自律したロボットの実現を目指した研究について述べたものである。まず、自律ロボットの研究の歴史についてふれ、人工知能適知能観・Subsumption Architecture 的知能観・機械学習的知能観に対するそれぞれの考え方についての見解を述べている。また、本論文における知能観として、自律ロボットに必要な能力として、「頑健性」「適応性」「簡便性」を挙げ、更に要求される性質として、「自己組織性」「可塑性」「汎用性」を挙げて、自律ロボットに必要な知識の形態は「世界像」であることを主張している。「世界像」とは中野馨先生の著書に現れてくる言葉であり、「モデル」の一種であるが、従来の「モデル」とは考え方において微妙に差がある。その異なる面について「記号」と「イメージ」をキーワードに私の見解を述べている。以降、以上の考え方を元にして博士課程において行った研究について述べている。

移動ロボットがある与えられた目的地を自律的に到達するためには、移動の過程において自らの判断で障害物を避け目的地に到達しなければならないが、そのためには作業環境のモデルを内部に持ちそれを利用して計画を立案し実行できる能力を持たなければならない。このようなアプローチは、既知環境において有効であり、特にモデル化・プランニングのアプローチは可能性の保証が可能であり効率の良い最適な行動を生成することが可能であるが、静的環境では有効なものの動的環境では問題が多く残されている。

これらの問題に対して、R.Brooksは行動規範型のアプローチによるSAを提案した。この手法は、ロボットに「環境についての内部モデル」を持たせる事を止め、「知覚と行為」を直接結び付けた反射的な行動を行わせる事によって、動的世界に対するロボットの適応性を高めるものである。したがって、頑健性・適応性を実現するためにSAを代表とする行動規範型ロボットを採用することを考える。しかし、環境に対する知識を持たないために行動は試行錯誤的なものとなるので実用性が低いとの声が多い。そこで、行動規範型ロボットに知識を保有させ利用させることにより計画行動を実現させ実用性を持たせることを考える。ここで、知識に自己組織性と可塑性を持たせるために人工神経回路手法を用いる。しかし、人工神経回路手法では、例えば移動ロボットの場合、作業環境が同じでも目的地が変更されると再び学習し直す必要があり、獲得する知識の汎用性が非常に低い。この問題に対して、計画立案のための知識と計画実行のための知識とに分離する。計画立案のための知識とは通路状環境の枝路をアークとし、交差点などの転回点をノードとするトポロジカルグラフで表現される。計画実行のための知識とは、転回点で目的地の枝路に進

入するための行動の知識である。このような知識の分離により汎用化を図った。しかし、従来のプランニング手法のように目的地へ到達するための枝路の系列を計画することはしない。移動中に起こるエラーに影響を受けやすい為である。そこでエラーリカバリの様な処理を付加しなくとも目的地に到達可能な計画手法を提案している。

本論文で提案した手法は、知識を可塑的に自己組織的に獲得していくので、環境の変化にも対応可能であり、行動規範型ロボットの特徴である環境の変化に対する柔軟性を保持しながら、尚且つ、問題とされていた計画行動を行うことを可能にしている。この点で、本手法は行動規範型ロボットをより実用的なものにしたと言える。

しかし、この手法だけではロボットに作業環境を記憶させるのに、環境の中を探索しなければならない。工場のような環境ではランダムな探索行動は無駄に見える。

ロボットの教示に関する研究は1980年代前半のロボット導入初期に活発に行われていたが、その後下火になって来ているように思われる。しかし、ロボットに我々の意図する作業を行わせるためには、ロボットに動作や作業を教えないということは考えられない。ロボットの研究にもっと教示問題を取り上げるべきとの意見も出されている。

従来の教示手法の研究では教示やプログラミングの再生に重きが置かれているように思われる。そのため、教示やプログラミングにおける実際の環境や作業との誤差が重大な問題となる。つまり、その誤差を含んだ知識を頼りに作業を行えば失敗を引き起こすのである。また、動的環境では予測不可能な事態が発生しうるが、単なる再生ではそれに対応することができない。本研究はこの様な堅い教示手法の問題点を解決することにある。

また、教示は産業界においては極めて時間のかかる作業である。直接にしろ間接にしろ教示には特別な記述や知識、道具を必要とする。そのため誰にでも手軽にロボットを利用することができないのが現状である。しかし、ロボットの活躍が期待される現場は数多くある。それらの現場でロボットが円滑に利用されるためには、ロボットについて詳しい知識を持つ持たないに限らず誰にでもできるロボットへの簡便な教示、とりわけロボットとの簡便なコミュニケーション手段の構築が必要である。本研究のもう一つの目的は、そのコミュニケーション手段の実現にある。

そこで本論文では、我々が普段用いる手書き地図を利用した移動ロボットへの教示手法を提案した。手書き地図のような環境のトポロジカルな情報のみを与えて、ロボットに環境地図を自動生成をさせる手法は見あたらない。絶対座標を用いる手法や、Kuipersが提案しているトポロジカルマップを獲得する手法でも、手書き地図から知識を獲得することはできない。なぜなら、手書き地図からは絶対座標や、測距センサの値を得ることができないからである。本手法がそれを可能にしたのは、トポロジカルマップから計測的な情報を一切取り除いたからである。その為トポロジカルな情報から環境地図を作成することができたのである。

本論文では、ロボットに我々の意図する作業を行わせる上で欠かせない教示問題を扱い、従来手法が抱えているモデル化誤差の問題、教示方法の難しさや利用者にかかる手間や負担といった問題の解決を図った。ロボットと人間との簡単なコミュニケーション手段の構築は、将来ロボットが各分野で活躍するための必要条件であると考え、その意味で本研究の目指す目的の意義は非常に大きいと考える。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 土 谷 武 士
副 査 教 授 島 公 脩
副 査 教 授 岸 浪 建 史
副 査 教 授 五十嵐 悟

学 位 論 文 題 名

動的環境における自律移動ロボットの 知識獲得及びナビゲーションに関する研究

医療福祉機器等の生産のような多品種少量生産にならざるをえない現場では、いわゆる産業用ロボットのような単なる繰り返し機械よりも、作業環境や作業内容などの変化に柔軟に対応できる「自律ロボット」の方が望ましく、これまで多くの研究者が様々なアプローチでその実現を試みてきた。本論文は自律ロボット、とりわけ動的世界に存在する自律したロボットの実現を目指した研究について論じたものである。まず、自律ロボットの研究の歴史についてふれ、人工知能適知能観・Subsumption Architecture 的知能観・機械学習的知能観に対するそれぞれの考え方についての見解を述べている。また、本論文における知能観として、自律ロボットに必要な能力として、「頑健性」「適応性」「簡便性」を挙げ、更に要求される性質として、「自己組織性」「可塑性」「汎用性」を挙げて、自律ロボットに必要な知識の形態は「世界像」であることを主張している。「世界像」とは中野馨氏の著書に現れてくる言葉であり、「モデル」の一種であるが、従来の「モデル」とは考え方において微妙に差がある。その異なる面について「記号」と「イメージ」をキーワードに見解を述べている。

移動ロボットがある与えられた目的地を自律的に到達するためには、移動の過程において自らの判断で障害物を避け目的地に到達しなければならないが、そのためには作業環境のモデルを内部に持ちそれを利用して計画を立案し実行できる能力を持たなければならない。このようなアプローチは、既知環境において有効であり、特にモデル化・プランニングのアプローチは可能性の保証が可能であり効率の良い最適な行動を生成することが可能であるが、静的環境では有効なもの動的環境では問題が多く残されている。

これらの問題に対して、R.Brooksは行動規範型のアプローチによるSAを提案した。この手法は、ロボットに「環境についての内部モデル」を持たせる事を止め、「知覚と行為」を直接結び付けた反射的な行動を行わせる事によって、動的世界に対するロボットの適応性を高めるものである。したがって、頑健性・適応性を実現するためにSAを代表とする行動規範型ロボットを採用することを考える。しかし、環境に対する知識を持たないために行動は試行錯誤的なものとなるので実用性が低いとの声が多い。そこで、行動規範型ロボットに知識を保有させ利用させることにより計画行動を実現させ実用性を持たせることを考え、知識に自己組織性と可塑性を持たせるために人工神経回路手法を用いている。しかし、人工神経回路手法では、例えば移動ロボットの場

合、作業環境が同じでも目的地が変更されると再び学習し直す必要があり、獲得する知識の汎用性が非常に低い。この問題に対して、計画立案のための知識と計画実行のための知識とに分離する。計画立案のための知識とは通路状環境の枝路をアークとし、交差点などの転回点をノードとするトポロジカルグラフで表現される。計画実行のための知識とは、転回点で目的の枝路に進入するための行動の知識である。このような知識の分離により汎用化を図っている。しかし、従来のプランニング手法のように目的地へ到達するための枝路の系列を計画することはしない。移動中に起こるエラーに影響を受けやすい為である。そこでエラーリカバリの様な処理を付加しなくとも目的地に到達可能な計画手法を提案している。

本論文で提案している手法は、知識を可塑的に自己組織的に獲得していくので、環境の変化にも対応可能であり、行動規範型ロボットの特徴である環境の変化に対する柔軟性を保持しながら、尚且つ、問題とされていた計画行動を行うことを可能にしている。この点で、本手法は行動規範型ロボットをより実用的なものにした。

しかし、この手法だけではロボットに作業環境を記憶させるのに、環境の中を探索しなければならぬ。工場のような環境ではランダムな探索行動は無駄に見える。

ロボットの教示に関する研究は1980年代前半のロボット導入初期に活発に行われていたが、その後下火になって来ている。しかし、ロボットに我々の意図する作業を行わせるためには、ロボットに動作や作業を教えないということは考えられない。ロボットの研究にもっと教示問題を取り上げるべきである。

従来の教示手法の研究では教示やプログラミングの再生に重きが置かれている。そのため、教示やプログラミングにおける実際の環境や作業との誤差が重大な問題となる。つまり、その誤差を含んだ知識を頼りに作業を行えば失敗を引き起こすのである。また、動的環境では予測不可能な事態が発生しうるが、単なる再生ではそれに対応することができない。本研究ではこのような堅い教示手法の問題点を解決することを目的にしている。

また、教示は産業界においては極めて時間のかかる作業である。直接にしろ間接にしろ教示には特別な記述や知識、道具を必要とする。そのため誰にでも手軽にロボットを利用することができないのが現状である。しかし、ロボットの活躍が期待される現場は数多くある。それらの現場でロボットが円滑に利用されるためには、ロボットについて詳しい知識を持つ持たないに限らず誰にでもできるロボットへの簡便な教示、とりわけロボットとの簡便なコミュニケーション手段の構築が必要である。本研究のもう一つの目的は、そのコミュニケーション手段の実現にある。

本論文では、普段用いる手書き地図を利用した移動ロボットへの教示手法を提案している。手書き地図のような環境のトポロジカルな情報のみを与えて、ロボットに環境地図を自動生成をさせる手法は見あたらない。絶対座標を用いる手法や、Kuipersが提案しているトポロジカルマップを獲得する手法でも、手書き地図から知識を獲得することはできない。なぜなら、手書き地図からは絶対座標や、測距センサの値を得ることができないからである。本手法がそれを可能にしたのは、トポロジカルマップから計測的な情報を一切取り除いたからである。その為トポロジカルな情報から環境地図を作成することができたのである。

本論文では、ロボットに我々の意図する作業を行わせる上で欠かせない教示問題を扱い、従来手法が抱えているモデル化誤差の問題、教示方法の難しさや利用者にかかる手間や負担といった問題の解決を図った。ロボットと人間との簡単なコミュニケーション手段の構築は、将来ロボットが各分野で活躍するための必要条件であると考えられる。その意味で本研究の目指す目的の意義は非常に大きいと考える。

これを要するに、著者は動的環境における自律移動ロボットの知識獲得とナビゲーションに関して新知見を得たものであり、ロボット工学分野への貢献大なるものがある。

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があるものと認める。