

学 位 論 文 題 名

Studies on AGV System with Autonomous Agents

(自律エージェント付き AGV システムの研究)

学位論文内容の要旨

自律分散型生産システム (ADPS) への指向が高まるにつれて, ADPS の実現に向けて無人搬送車 (AGV) が重要な役割を担うようになってきている. その大きな理由は, 固定された搬送装置と比較して搬送の自由度が高く, それによって工場を再構成することなく柔軟な生産ラインを確保できることにある. しかし, AGV の運行スケジュールは生産ラインが変更される度に事前に作成される必要があった. 運行スケジュールは熟練者においても多大の労力を要し, また遺伝的アルゴリズム (GA) のようなヒューリスティックな方法を採用しても, 運行時に経路上におかれる障害物や他の AGV との衝突を予め考慮不可能なため, 適用が困難な場合が多い. AGV の多くは, こうした困難を予め取り除くために有軌道型が導入されている.

このような問題は, AGV に対して運行スケジュールを事前に知識として与える必要性のため生じる. この解決には, AGV が環境を認識し, 主体的に行動を決定する自律性を与える必要がある.

本論文では, AGV が運行時に環境に応じて主体的に行動を決定できる自律性を持たせる技術の確立を目的とする. すなわち, 工場をマルチエージェントシステム (MAS), AGV をエージェントとモデル化し, MAS におけるエージェントの学習・適応問題としてエージェントが自律性を獲得する方法を確立する.

1980 年代から分散人工知能分野で始まる MAS 問題に関する研究は, 多くの分野で積極的に研究が行われている. MAS そのものに関する定義は, 研究者によって分野毎に異なる. 更に, MAS を数理モデルと取り扱う研究例は少なく, 応用に関する展開はなされていない.

このような背景下で, 本研究では対象物を人工のシステムに限定し, MAS 問題を環境とエージェントを決定する設計問題として捉え, 数理モデルを展開している. また, 数理モデルの確立により, MAS が本来的に具備している基本的性質, エージェントが持つべき構成要件等が明確にされている. 更に, 数理モデルの検討結果から MAS における学習エージェントモデルが導出される. 学習エージェントモデルは AGV の自律運転を必要とする種々の具体的問題へ応用され, それらの有効性が数値計算実験に基づいて検証されている.

本論文の第 1 章では, MAS, 機械学習, ADPS の背景が述べられ, 本研究を着手するに至った動機が述べられている.

2 章では, MAS における学習エージェントを数理モデルとして取り扱う方法が提案され

ている。具体的には、MAS における環境とエージェントの定義、この定義に基づく MAS の定式化と同問題の分類が示される。その後、システムからのエージェントの報酬及びマルチエージェント全体とエージェントの行動の合目的性が導出され、学習エージェントの構成要件の導出から学習エージェントモデルが確立されている。また、傾斜法及び確率的ダイナミックプログラミングによる具体的な学習エージェントの学習法が導出されている。

3 章～7 章では、2 章で導かれた学習エージェントモデルを生産システムにおける AGV の自律運転に適用した種々の問題解決法が述べられている。

3 章では、セル上に配置された加工機械群の間を AGV が一方向に走行するレーンを持つ工場を想定し、複数の AGV が被加工物を積載して指定された加工機械間を自律的に走行する問題に対し学習エージェントが適用されている。AGV の走行スケジューリング問題は一般に NP 完全問題に属する組合せ問題となり、厳密に解くことが殆ど不可能である。提案した方法は、学習エージェントから導出した確率的学習オートマトン (SLA) を複数 AGV の自律走行モデルに適用し、AGV の自律走行を可能としている。同様な研究では、投入される AGV 台数が 5 台程度であるが、本研究では 5～30 台の AGV で自律走行可能なことが検証されている。同問題に対しては、Q 学習との比較・検討が行われ、Q 学習と SLA は同じ性能を持つことも示されている。

4 章では、3 章と同じ工場モデルを設定し、AGV の走行スケジューリングの決定に GA が適用される。複数加工機械を巡回する AGV の解表現には順序表現が採用されている。適用関数の計算には、衝突等を考慮することが不可能なため予め衝突回避ルールを設定したシミュレーションが採用されている。3 章と同様に 5～30 台の AGV に関して数値計算が行われた結果、AGV の良好な走行結果が得られ、3 章の結果が良好であることが保証された。

5 章では、学習エージェントモデルから導出された Q 学習が経路獲得問題の無軌道型 AGV に適用され、AGV が被加工物を積載して目的地までの経路を自律的に獲得するモデル化が行われている。Q 学習はシステムからの成功報酬のみが採用されるため長大な時間を要する。この要因は、学習の初期段階で成功報酬が無いためである。本章では、Watkins によるレーストラック問題に失敗から学ぶ 3 つの学習法が提案され、成功報酬のみを扱う学習法と提案手法の比較が行なわれる。この結果、提案方法の学習が従来の Q 学習より短時間で進行することが示される。更に、自動倉庫と複数加工機械が設置された工場モデルが設定され、自動倉庫と加工機械間あるいは加工機械間の AGV の経路獲得に提案した一手法が適用され、AGV の自律搬送シミュレーションが実施されている。この結果、プログラムレスな搬送が可能なが検証される。また、工場内の AGV 台数を 5～25 台とした時に得られた搬送効率から、提案した工場モデルにおける効率的な台数が存在することも示された。

6 章では、無軌道型 AGV が対象とされ、AGV が工場内の搬送を AGV 間の衝突回避を行い、自律的に走行する問題が取り扱われる。AGV の知能化を実現する一つの問題は AGV 間の衝突回避及び速度協調の解決である。本章では工場内の複数 AGV の衝突を設定し、相手 AGV が自律的に決定した行動と、それに対する AGV 自身の行動を 2 エージェントが

相互に理解する問題と捉え、AGV 間の衝突回避及び速度協調に関する行動を AGV が自律的に獲得可能な Q 学習の適用方法が提案されている。貝原らのヒューリスティックな方法と提案方法が比較・検討された結果、貝原らの方法より良好な結果が示されている。

7 章では、無軌道型 AGV の経路獲得問題に対し、人間が知識獲得を行う形態に近い簡易疎分布メモリー (SDM) を採用した強化学習による経路獲得法が提案されている。従来の経路獲得法は AGV 自身の位置情報を前提とするが、本方法では位置情報は付加的情報とされている。SDM は連想記憶に類似した記憶をクラスター化し、識別する機能を持つ。この機能により抽出される異なる地点のシーンを状態として AGV の行動が Q 学習により学習される。数値実験では、類似シーンが多数存在する問題、及び工場内に障害物が多数設置された問題が設定され、両者の実験環境で AGV がシーンを獲得し、自律的に経路を獲得可能であることが示されている。

8 章では、数理モデルから導出された学習エージェントモデルが、MAS における自律分散システムの適応性・自律性を実現することが示され、その具体的な事例として各章での AGV の自律運転への適用方法とその実験結果による検証が要約されている。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 嘉 数 侑 昇

副 査 教 授 大 内 東

副 査 教 授 大 森 隆 司

副 査 教 授 和 田 充 雄

学 位 論 文 題 名

Studies on AGV System with Autonomous Agents

(自律エージェント付き AGV システムの研究)

本論文は、AGV システムに対して環境に応じて主体的に行動を決定できる自律性を付与すべく、工場を環境、AGV システムをエージェントとしてモデル化したマルチエージェントシステム (MAS) において、エージェントの学習・適応問題として生物が機械的レベルで自律性を獲得する手法を模倣した方法に基づいた自律エージェント付き AGV システムの提案・検証に関して実施した一連の研究結果をまとめたものである。

特に、本研究では人工システムを対象とした MAS 問題を環境とエージェントを決定する数理モデルを展開し、MAS が本来的に具備している基本的性質、エージェントが具備すべき構成要件を明確にした上で、MAS における学習に基づく自律エージェントモデルを導出し、AGV システムの各種具体的問題に対する適用法を提案・検証していることは評価に値する。

1 章は、序論である。

2 章では、MAS における学習に基づく自律エージェントの数理モデルの定式化と同問題の分類を行ない、これに基づいた自律エージェントモデルを確立している。また、傾斜法及び確率的ダイナミックプログラミングによる具体的な自律エージェントの学習法を導出している。

3 章では、セル上に配置された加工機械群の間を AGV が一方向に走行するレーンを持つ工場において、複数の AGV が被加工物を積載して指定された加工機械間を自律的に走行する問題に対し学習に基づく自律エージェントを適用している。

この問題は NP 完全問題に属する大規模複雑問題であり、厳密に解くことが殆ど不可能である。提案された方法は、2 章で導いた自律エージェントの学習に確率的学習オートマトン (SLA) を適用し、多数 AGV の自律走行が可能であることを検証している。

4 章では、3 章における自律エージェントに基づく自律走行の性能を検証するため、同問題に対して GA を適用する方法を提案・検証している。適用関数の計算には、衝突回避ルールを設定したシミュレーション法を採用している。数値計算結果を 3 章の結果と比較した

結果、自律エージェントによる走行が良好であることを指摘している。

5 章では、3 章のケースとは環境設定、すなわち無軌道型 AGV システムを備えた工場モデルを設定し、AGV システムの搬送問題に対して自律エージェントを適用する方法を提案し、シミュレーションに基づいてプログラムレスな自律搬送が可能なことを検証している。自律エージェントの学習には失敗に基づく Q 学習を提案し、その性能を確認している。

6 章では、無軌道型 AGV を対象とし、AGV 間の工場内搬送時に生じる衝突回避問題を学習・適応による知識獲得で解決する方法を提案・検証している。すなわち、衝突回避問題を 2 エージェントの行動を相互に理解する問題と捉え、AGV 間の衝突回避に関する行動を Q 学習により獲得可能な自律エージェントを提案している。数値計算実験より貝原らの方法より良好な結果を検証し有効性を示している。

7 章では、無軌道型 AGV の経路獲得問題に対し、人間が知識獲得に近いと考えられる簡易疎分布メモリー (SDM) を採用した機械的学習法である Q 学習による自律エージェントを提案・検証している。

SDM は連想記憶をクラスター化し、識別する機能を持つ。この機能により経路上の特徴地点のシーンを状態として AGV の行動を学習する自律エージェントを提案し、類似シーンが多数存在する問題、及び工場内に障害物が多数設置された問題に適用した数値計算から、AGV が特徴シーンと行動を獲得し、獲得された経路から自律行動が可能であることを検証している。

8 章は、研究全体を総括している。

これを要するに、本論文はマルチエージェントシステムの学習メカニズムを数理モデルとして確立し、そのモデルに基づいた自律エージェントモデリング論を展開、応用分野として有軌道上、無軌道上を走行する多数 AGV システムの自律走行を目的とした、適応的知識獲得を含む自律機能獲得に関する方法論を開発し、シミュレーション及び現場での実機実験による検証を通してその正当性、有効性を示したものである。これにより知能機械工学に関する研究分野において多くの新知見を得たものであり、情報工学、および複雑系工学の進歩に寄与するところ大なるものがある。

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。