

審 査 結 果 の 要 旨

論文題目「動的なグラフ構造を持つマルチエージェントシステムにおける障害物回避を考慮した合意制御」

学位申請者 木村 裕紀

本論文は、マルチエージェントシステムの制御に関するものである。本論文で報告されている主な学術的成果は、センサ測定範囲が制限され、その影響でネットワークが時变的に変化する状況下において、複数のエージェントの状態を同じ値に一致させる合意を達成する制御則を確立していることである。次に、ネットワークが時变的に変化する状況下に加えて、障害物が存在する環境下においても合意を達成する制御則を確立していることである。

本論文の背景には、複雑系、人工知能、分散コンピューティング、社会シミュレーション、交通システム、電力システムなどを含む、複数のエージェントから構成されるマルチエージェントシステムにおいて、理論研究から脱却して実社会の問題解決に結びつく実現性の高い制御系設計手法の確立と、それによる更なる性能向上が求められているという現状がある。これに対して、本論文の目的は、移動体を想定したマルチエージェントシステムを対象として、実環境で課題となるネットワークの断絶と障害物の存在を考慮した制御系設計手法を確立し、その有効性をシミュレーションによって実証することである。

本論文の構成は以下の通りである。

第1章では、研究背景とマルチエージェントシステムに関する近年の潮流について説明し、国内外のマルチエージェントシステムの制御に関する従来研究を示している。従来研究からマルチエージェントシステムの制御に関する課題を明らかにし、本研究の目的について述べており、序論としての確であり、申請者が制御工学、ロボット工学、システム工学について十分な知識と経験を有していると判断できる。

第2章では、マルチエージェントシステムを数学的に扱うために必要とされるグラフ理論の概念と、合意制御問題について説明している。その上で、グラフの異なるマルチエージェントシステムを複数例示し、グラフの構造によって合意形成に至るまでの収束速度が異なることをシミュレーションで示している。また、同じグラフ構造であっても制御ゲインの値によっては合意形成に至るまでの挙動が変化することをシミュレーションで示し、提案制御手法の基本となる時変ゲインの可能性を示している。

第3章では、移動体を想定したマルチエージェントシステムにおける実環境の課題について説明している。具体的には、外部環境を測定するセンサには有限な測定範囲が存在し、センサ測定範囲外にエージェントが移動した瞬間からネットワークが断絶することを示している。これはグラフ構造が変化することに相当するため、合意形成に至るまでの挙動が変化することになり、最悪の場合には合意形成が破綻することをシミュレーションで示している。このような時变的に変化する動的ネットワークに対し、申請者らが取り組んできた時変ゲインに基づく2つの合意制御方式を示し、その有効性をシミュレーションによって実証しており、学術的な価値が高いと判断される。

第4章では、移動体を想定したマルチエージェントシステムにおいて、障害物が存在する環境下における課題について説明している。具体的には、障害物の存在によって他のエージェントの測定が不可能となるため、他のエージェントがセンサ測定範囲内に存在する場合においてもネットワークの断絶が生じることを示している。また、第3章で示した時変ゲインに基づく2つの合

意制御方式について、動的ネットワークに対しては有効であるが、障害物が存在する状況下では合意形成が破綻する場合があることをシミュレーションで示している。これにより、動的ネットワークに加えて、障害物の存在に対応した合意制御方式の必要性が明らかとなり、本研究の意義が明確に示されている。

第5章では、動的ネットワークと障害物の存在に対応した合意制御方式（提案合意制御方式1）の詳細について説明し、その有効性をシミュレーションによって実証している。提案合意制御方式1は、センサ測定範囲内に存在する他のエージェントとの間に回避領域を設定し、回避領域内に障害物が存在する場合、障害物の回避領域内への侵入度合いに応じて回避入力を作成することが示されている。そして、合意のための合意入力と障害物回避のための回避入力を結合することで、動的ネットワークと障害物の存在に対応可能となることが示されている。第3章で示した時変ゲインに基づく2つの合意制御方式では合意形成が破綻する条件を設定し、提案合意制御方式1の有効性をシミュレーションで検証している。その結果、第3章で示した時変ゲインに基づく2つの合意制御方式では0%の合意達成率に対し、提案合意制御方式1では91.3%まで合意達成率が向上することを実証しており、合意制御方式を確立する上で非常に重要な知見が示されている。

第6章では、動的ネットワークと障害物の存在に対応した、第5章とは異なるコンセプトの合意制御方式（提案合意制御方式2）の詳細について説明し、その有効性をシミュレーションによって実証している。提案合意制御方式2は、センサ測定範囲内に存在する他のエージェントとの間に回避領域を設定し、回避領域内に障害物が存在する場合に仮想エージェントを生成し、障害物の回避領域内への侵入度合いに応じて仮想エージェントの配置場所を変更することが示されている。そして、実在するエージェントと仮想エージェントから障害物回避のための回避入力を作成し、合意のための合意入力と結合することで、動的ネットワークと障害物の存在に対応可能となることが示されている。第5章と同様に第3章で示した時変ゲインに基づく2つの合意制御方式では合意形成が破綻する条件を設定し、提案合意制御方式2の有効性をシミュレーションで検証している。その結果、提案合意制御方式2では100%の合意達成率が得られ、更に、第5章の提案合意制御方式1よりも合意形成までの収束速度を約3倍向上できることを示し、仮想エージェントという従来にないコンセプトに基づいた合意制御方式の有効性を実証している。

第7章は、本研究の成果を総合して述べるとともに、動的ネットワークと障害物の存在という実環境の課題を考慮した合意制御方式の有用性を示していることから、今後さらなる発展が十分に期待できることを示している。

以上の結果、本論文は学位論文として十分な内容を有するものと審査委員全員の一致で判定された。

したがって、学位申請者 木村 裕紀 氏は東海大学博士（工学）の学位を授与されるに値すると判断した。

論文審査委員

主査	博士（工学）	成田 正敬	工学部准教授	（総合理工学研究科総合理工学専攻）
委員	Ph. D	山本 佳男	工学部教授	（総合理工学研究科総合理工学専攻）
委員	博士（工学）	稲田 喜信	工学部教授	（総合理工学研究科総合理工学専攻）
委員	博士（工学）	加藤 英晃	工学部准教授	（総合理工学研究科総合理工学専攻）
委員	博士（工学）	奥山 淳	工学部教授	（総合理工学研究科総合理工学専攻）