

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	悪意のある攻撃下におけるマルチエージェント系のレジリエント合意
Title(English)	Resilient Consensus of Multi-Agent Networks in the Presence of Malicious Attacks
著者(和文)	ディバジ セイエッドメヘラン
Author(English)	Seyed Mehran Dibaji
出典(和文)	学位:博士（学術）, 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10253号, 授与年月日:2016年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:石井 秀明,寺野 隆雄,三宅 美博,樺島 祥介,小野 功
Citation(English)	Degree:, Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10253号, Conferred date:2016/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第 号		学位申請者氏名	Seyed Mehran Dibaji	
論文審査 審査員	主査	氏 名	職 名	氏 名	職 名
	石井 秀明	准教授	審査員	小野 功	准教授
	寺野 隆雄	教授			
	三宅 美博	教授			
	樺島 祥之	教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Resilient Consensus of Multi-Agent Networks in the Presence of Malicious Attacks (悪意のある攻撃下におけるマルチエージェント系のレジリエント合意)」と題し、英文による全7章から構成されている。本論文では、多数のエージェントが相互に情報交換を行いながら、各々が持つ状態変数の値を一致させる合意問題を考えている。とくに故障や攻撃により一定数のエージェントが発信する情報が異常値を含む場合にも影響を受けない（レジエント性を有するという）合意を達成するための分散アルゴリズムや最低限必要となるネットワーク構造について述べている。

第1章「Introduction」では、近年、計算機科学や制御工学などの多くの分野において、マルチエージェント系の合意問題が重要な基礎課題として研究されていると説明している。合意問題では、多数のエージェントが局所的な情報にもとづいて意思決定をするが、システム全体で統一された決定に至ることが求められると述べている。つぎに、エージェント間で通信を行う際にサイバー攻撃を受ける危険性があるため、誤った情報に影響を受けないレジリエントなアルゴリズムを構築することの重要性に言及している。

第2章「Preliminaries」では、本論文で扱うレジリエントな合意問題の最も基本的な問題設定を行い、その中で必要

となる概念や記号の導入を行っている。まず、エージェント系のネットワーク表現に用いるグラフ理論を紹介している。つぎに、1次のダイナミクスを持つようなエージェントからなる系の合意問題について、更新時刻が同期している場合を定式化している。所定のアルゴリズムに従う正常なエージェントと、本来とは異なる振舞いをする異常なエージェントを定義している。さらに、Sundaram らによる先行研究にもとづき、正常なエージェントが用いる更新則として、一定数の異常値を無視する分散アルゴリズムを構成し、レジリエントな合意を達成するための必要十分条件が、ネットワーク構造のグラフが持つロバスト性と呼ばれる性質で与えられることを説明している。

第3章「Resilient Consensus of Asynchronous First-Order Agents」では、第2章で扱った1次系からなるエージェントの問題に対して、更新時刻が同期せず、また通信時に時間遅れが生じる場合を検討している。そこで適用可能なアルゴリズムを構成し、前章と同様に、ネットワーク構造がロバストなグラフであればレジリエントな合意が得られることを示している。さらに数値例を通じて、提案アルゴリズムの有効性を検証している。最後に、本章で用いている時間遅れのモデルが制御工学的に自然なものであり、リアルタイム性の面で計算機科学分野におけるものと異なる点を明らかにして

いる。

第4章「Resilient Consensus of Synchronous Second-Order Agents」では、ビーグル群や自律移動型ロボット群への応用を想定して、各エージェントの動的なモデルが2次系で表現される場合について、レジリエントな合意問題を検討している。このときの合意は、最終的に位置が一致し、速度が零となることと定め、分散アルゴリズムとして各エージェントが近傍の位置情報のみを集め、外れ値となるデータを無視するものを用いると説明している。システム内に存在する異常エージェントのクラスとして2つのものを検討し、それぞれの問題についてロバストなグラフにもとづき、合意達成のための十分条件および必要条件を導出している。さらに、具体例を挙げて、両条件間のギャップを埋めることの困難さを示している。

第5章「Resilient Consensus of Asynchronous Second-Order Agents」では、第4章と同様、2次系からなるエージェント系を扱っているが、更新時刻が非同期で、かつ近傍の情報に時間遅れが含まれる場合へ拡張している。

第6章「Resilient Consensus of Integer-Valued Agents」では、エージェントが持つ状態量が整数値の場合を検討し、外れ値を無視するアルゴリズムおよびネットワーク構造に関する条件をマルコフ連鎖の理論にもとづいて導出している。実数値の場合と異なり、更新時に確率的なアルゴリズムを用いる必要があることを、いくつかの例を通じて示している。とくに、各エージェントは状態量の更新時に、確率的な量子化器を用いること、また非同期な通信の場合には通信時刻を確率的に決定することの意義を述べている。

第7章「Conclusion」では、本論文のまとめとして各章の内容を振り返った後、今後進める研究の方向性として、(1)より高次のダイナミクスを持つエージェント系への一般化、(2)レジリエントな合意アルゴリズムの性能解析、(3)通信や計測における雑音の考慮、(4)無線センサネットワークの時刻同期や電力系統の制御などの応用問題への適用を挙げ、期待される成果を述べている。

以上を要するに、本論文は故障やサイバー攻撃によって異常な振舞いをするエージェントが含まれる分散的なシステムにおいて、正常なエージェント間で合意を達成する問題に取り組み、ネットワーク構造に関する条件を理論的に明らかにしている。これは、分散アルゴリズムに対する制御理論的なアプローチとして、学際性および新規性が高く、学術上貢献するところが極めて大きい。従って、本論文は博士（学術）の学位論文として十分な価値が有るものと認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。