

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Dynamic Event-Triggered Consensus in Multi-Agent Systems
著者(和文)	MISHRARajiv Kumar
Author(English)	Rajiv Kumar Mishra
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11858号, 授与年月日:2022年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:石井 秀明,三宅 美博,DEFAGO XAVIER,小野 功,下坂 正倫
Citation(English)	Degree:Doctor (Academic), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11858号, Conferred date:2022/3/26, 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	MISHRA Rajiv Kumar		
論文審査 審査員		氏名	職名		氏名	職名
	主査	石井 秀明	教授	審査員	下坂 正倫	准教授
	審査員	三宅 美博	教授			
		DÉFAGO Xavier	教授			
小野 功		准教授				

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Dynamic Event-Triggered Consensus in Multi-Agent Systems」と題し、英文による全6章から構成されている。本論文では、多数の自律的に意思決定や通信を行うエージェントがネットワークを構成し、相互に情報交換を行いながら、各エージェントが持つ状態変数を合意させる分散アルゴリズムを考えている。とくに合意達成の速度や精度の面での性能を損ねることなく、情報交換や状態更新の頻度を効率的に低減化するための手法構築が目的となっている。

第1章「Introduction」では、マルチエージェントシステムの協調制御が分散的な計測や制御を活用するシステムで多くの応用があり、その重要な基礎課題である合意問題は広く制御、通信、計算機科学、ロボティクス、物理学などの分野で研究されていると説明している。また、全エージェントの協調により合意を得るには、エージェント間で十分に情報が交換され、適切な制御プロトコルを用いることが重要であると述べられている。本研究の目的は、各々のエージェントが利用する計算・通信資源に対する制約を考慮することとし、とくにエージェントの状態値に依存して通信時刻を決定するトリガー手法のアプローチに基づく合意プロトコルを構築・解析することとしている。プロトコルは離散時間領域におけるものであり、異なるダイナミクスを持つエージェントシステムに対して統一的な枠組みを提案すると述べている。また応用例として、無線センサネットワーク上での時刻同期やマイクログリッドでの電力供給手法などに触れている。

第2章「Related Research and Motivation」では、近年のマルチエージェントシステムの研究を紹介し、本研究の背景および動機付けについて議論している。トリガー手法を用いた制御機構の多くは連続時間領域で解析されており、離散時間領域のものが限定的であると述べている。

第3章「Average Consensus in MAS with Single-integrator Dynamics」では、最も基本的な場合として積分器のダイナミクスを持つエージェント系を対象とし、無向ネットワーク上における平均合意問題を考えており、必要な通信頻度を抑制する3つのトリガー手法に基づくプロトコルを提案している。第1のプロトコルはイベントトリガー型と呼ばれるクラスに属し、とくに静的な閾値を持つものとしている。各エージェントは自身が前回送信した状態値と現在の値の差を比

較し、その大きさが近傍の状態値から決まる閾値を超えた場合にのみ、次のブロードキャスト送信および状態の更新を行う手法であるとしている。利点として、合意に近づいた際により高頻度に通信することで、状態間の差を精度よく一致させられる点を挙げている。第2のプロトコルもイベントトリガー型であるが、新たな変数を導入し、閾値を動的に変化させることで、より一層通信回数を低減化できるとしている。他方、第3のプロトコルはセルフトリガー型の制御機構を利用し、送信する度に次の送信時刻を決定し、状態値と共に近傍エージェントに送るものとしている。各エージェントは状態値や通信を事前に決定・周知している時刻においてのみ実行すればよく、計算・通信リソースの有効利用に繋がると説明している。最後に、ランダムネットワークを用いた数値例を通じて、提案手法の有効性が検証されている。

第4章「State Consensus in MAS with General Linear Dynamics」では、各エージェントが一般の線形ダイナミクスを持つ場合を対象としており、全エージェントが持つ多次元の状態値を合意させることを目指すとしている。このシステムに対して、前章同様の特徴を有する3つのトリガー型合意プロトコルを提案し、その下でエージェントシステムが計算や通信の面で効率的に大域的なタスクを達成することを理論的に示している。数値例として、2重積分系のダイナミクスを持つビークル群のフォーメーション制御を扱い、提案するトリガー型プロトコルにより限られた通信の下で所望の合意性能を達成し得ることを述べている。

第5章「Weighted Consensus in MAS with Directed Topologies」では、前章までと異なり、ネットワークが有向な場合を考えており、積分系として表されるエージェントに対してトリガー型の3つのプロトコルを一般化している。さらにサイバーセキュリティの観点から、システム内に悪意を持つ攻撃者が存在する場合を考え、DoS 攻撃により通信が妨害されても合意が達成されることを示している。

第6章「Conclusion」では、各章の内容をまとめた後、今後進める研究の方向性として、(1)通信や観測に含まれる雑音の考慮、(2)異常エージェントが含まれる場合に対するレジリエント合意、(3)他のエージェント系の課題に対するトリガー型制御機構の導入を挙げ、期待される成果などを述べている。

以上を要するに、本論文は通信・計算リソースが限られた環境下に置かれたマルチエージェントシステムが効率よく合意を実現する分散アルゴリズムの問題に取り組んでいる。とくにエージェントが持つダイナミクスとして、離散時間領域における高次の場合を網羅する統一的な合意アルゴリズムの枠組みを得ており、その理論的な解析がなされている。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、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。