



Analysis of Consensus State and Design of Triggering Functions for Event-triggered Control of Multi-agent Systems

程, 子洋

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

2022-03-25

(Date of Publication)

2023-03-01

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲第8362号

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1008362>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



論文内容の要旨

氏 名 _____ 程 子洋 _____

専 攻 _____ システム科学 _____

論文題目 (外国語の場合は, その和訳を併記すること。)

Analysis of Consensus State and Design of Triggering
Functions for Event-triggered Control of Multi-agent
Systems

マルチエージェントシステムのイベントトリガ制御におけ
る合意状態解析及びトリガー関数設計

指導教員 _____ 羅 志偉 教授 _____

(注) 2, 000 字~4, 000 字でまとめること。

During the last decades, increasing attention has been focused on multi-agent system (MAS) due to their widespread existence, e.g., manufacturing, process control, network management. The MAS consists of multiple agents, each agent is an autonomous component that perceives its environment and cooperates with other agents in pursuit of its tasks. According to the location of decision maker, MAS can be divided into centralized, decentralized, and distributed systems. In a centralized system, all agents transmit their information to a central network owner, and receive the control command from it. Obviously, it is vulnerable and inefficient. Decentralized systems divide the agents into small groups, use multiple central owners to collect the information and make decisions for the agents in each group. The central owners form a communication network. It is more robust and has better performance compared with centralized systems. Nevertheless, it requires higher equipment cost and operating cost for more central agents. The distributed systems eliminate centralization, each agent have equal access to data and make decisions by its own. It has high fault-tolerance and scalability and is widely applied in many aspects of industries. However, it needs the highest equipment cost and operating cost among the three kinds of systems. Because an independent set of devices is demanded by each agent to fulfill various physical and cyber processes, e.g., sampling, storage, computation, communication, actuation. The computation and communication resource of each agent is limited and more efficient deployment is required. Hence, the idea of event-triggering is introduced. The desired operation is executed only when the prescribed event is triggered. It not only converts the continuous operations into discrete actions, but also offers an efficient organization on the working rhythm.

There are various problems in multi-agent cooperation of distributed system, e.g., leader-following, flocking, formation, distributed optimization, consensus control. Among them, consensus control plays a fundamental role and is regarded as the basis of distributed problems. Generally, a group of agents is called consensus when they agree on a certain physical or virtual state. The consensus state refers to the state of agents when they reach consensus. Obviously, there must exist some changes when introduce event-triggered control protocol into a continuous system,

In this research, we investigate the consensus state of event-triggered MAS. The research results are summarized into the following three cases:

1. Observe the consensus state of general linear MAS with event-triggered control. (Chapter 3)

2. Design a state-based triggering function for finite-time consensus of multi-agent system, which only requires sampled state. (Chapter 4)

3. Design a time-based triggering function for finite-time consensus of multi-agent system. (Chapter 5)

At first, we study the consensus state of general linear MAS with event-triggered control. By now, previous research studied the consensus state of simple linear event-triggered MAS with undirected topology. The simple linear system here means the dynamic of each agent is linear without state feedback. Based on this method, we analyze the consensus state of a general linear event-triggered system with directed graph. It is clarified that, the consensus state is a constant vector or a periodic varying vector, and such difference depends on the system matrices and the topology. In addition, these parameters and the trigger threshold affect the value of consensus state.

Secondly, we design a state-based triggering function for finite-time consensus of multi-agent system. In practical MAS, it is of particular interest to achieve cooperation in a finite time to meet specific requirements. In previous researches, although the update of control signal is determined by the event-triggered control law, the communication between each neighboring agents still requires continuous operation, which requires a waste of communication resource. To solve this problem, we design the triggering function based on the sampled state. The sampled state refers to the state sampled and transmitted by the agents when event is triggered. With this condition, the communication is converted into event-triggered operations. Additionally, we analyze the conditions to ensure positive minimum inter-event time. It should be mentioned that the existence of positive minimum inter-event time is a sufficient condition for the avoidance of Zeno behavior. It is much more applicable to the practical implementation. Simulation results show that although sampled-state based triggering function has greater estimation error in consensus time, it saves more computation and communication resource compared with exact-state based case. The exact-state means the continuous state of agent.

Finally, we design a time-based triggering function for finite-time consensus of multi-agent systems. By now, most of triggering thresholds in the field of finite-time consensus problems are designed based on the state of agents. Different from such state-based triggering functions, here the triggering threshold is only time-dependent, the state information received from neighbors are only required to update the

controller, which is easier to achieve a desired balance between the convergence time and the number of triggering times. Computer simulation shows that, (1) although the time-based event-triggered control protocol has larger error in the estimation of settling time in certain conditions, it has fewer numbers of triggering times and less settling time compared with exact-state based case, (2) the time-based case has smaller error in the estimation of settling time in certain conditions, fewer numbers of triggering times and less settling time compared with sampled-state based cases. Therefore, our time-based approach requires least computation and communication resource to achieve consensus.

氏名	程 子洋		
論文 題目	Analysis of Consensus State and Design of Triggering Functions for Event-triggered Control of Multi-agent Systems 和訳：マルチエージェントシステムのイベントトリガ制御における合意状態解析及びトリガー関数設計		
審査委員	区分	職名	氏名
	主査	教授	羅 志偉
	副査	教授	増淵 泉
	副査	教授	太田 能
	副査	准教授	全 昌勤
要 旨			
<p>本研究は、マルチエージェントシステム（略称：MAS）の合意形成問題について考察をし、イベントトリガ制御によるMASの合意状態の解析及び有限時間における合意形成のためのトリガー関数の設計に関して独自の研究提案を行っている。</p> <p>近年、MASの大規模化に伴う各エージェントの計算負荷、消費エネルギー及びエージェント間の通信負荷の軽減を目指して、各種のイベントトリガ制御が提案されている。従来の研究では、一次のシンプルなエージェントダイナミクスを対象にイベントトリガ制御で形成された合意状態は解析されてきた。しかしながら、一般的な線形状方程式で記述されるエージェントダイナミクスのイベントトリガ制御で形成された合意状態については明らかにされていない。また、有限時間合意形成のためのイベントトリガ制御も提案されているが、トリガー関数には隣接エージェントの連続時間状態変数の情報が必要であり、実質的にエージェント間の通信負荷を軽減できないという課題が残されていた。これらの課題を解決するために、本論文は以下に示す三つの研究を実施した。</p> <p>まず、一般的な線形状方程式で記述されるエージェントダイナミクスのイベントトリガ制御について、MASのシステムダイナミクスに依存して形成された合意状態が、①0に収束する場合、②定数ベクトルに収束する場合と③周期的に振動する場合に分かれることを明らかにした。この研究成果は、システム制御情報学会論文誌に掲載された。</p> <p>次に、MASにおける有限時間合意形成のためのイベントトリガ制御について、独自に二種類のトリガー関数を提案され、数理解析及び数値シミュレーションにより少ないエージェント間の通信で効率的な有限時間合意形成が実現できることを明らかにした。一番目に提案されたトリガー関数では、隣接エージェントのトリガ時刻の状態情報のみを利用し、また、二番目に提案されたトリガー関数では、単に時間関数を適用するようにしている。これによって①計算負荷及び②エージェント間の通信負荷を大幅に軽減できることを確認された。これらの研究成果も、2件の学術論文としてシステム制御情報学会論文誌に採択され、また、査読付き国際学術会議 International Conference on Electrical, Computer, Communications and Mechatronics Engineering (IEEE ICECCME), 2021 で口頭発表された。</p> <p>本論文は6章で構成されている。</p> <p>第1章では、本研究の背景を述べ、マルチエージェントシステム（略称：MAS）の合意形成問題を説明した。また、本研究の目的及び構成についても述べた。</p> <p>第2章では、本研究で扱うマルチエージェントシステム（略称：MAS）の合意形成問題に関する問題の定式化や関連数理基礎について述べた。</p>			

氏名	程 子洋
<p>第3章では、MASのシステムダイナミクスと形成された合意状態との関係を解析している。</p> <p>第4章では、隣接エージェントのトリガ時刻の状態情報のみを利用したトリガー関数を提案し、その有限時間合意形成を実現できるための条件を明らかにしている。</p> <p>第5章では、単に時間関数を用いてトリガー関数を構成する場合の有限時間合意形成について解析と数値シミュレーションによる検証をしている。</p> <p>第6章では、本研究における結論と今後の課題と展望についてまとめた。</p> <p>以上で、本論文は、マルチエージェントシステムのイベントトリガ制御による合意形成課題について斬新な解析と設計手法を研究され、数多くの有益な知見と有益な示唆を得たものとして価値ある集積である。よって、提出された論文はシステム情報学研究科学位論文評価基準を満たしており、学位申請者の程子洋は、博士(工学)の学位を得る資格があると認める。</p>	