

令和元年6月14日現在

機関番号：12101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06408

研究課題名(和文)分散型信号推定機構を用いた非線形マルチエージェントシステムの同期追従制御系の構築

研究課題名(英文) Distributed Consensus Tracking Control of Multi Agent Systems Using Distributed Signal Estimation Techniques

研究代表者

楊子江(Yang, Zi-Jiang)

茨城大学・理工学研究科(工学野)・教授

研究者番号：30243984

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：複数の動的エージェントが相互作用しながら、大域的な目的を達成するというマルチエージェントシステムの制御は近年注目されている。リーダーの指令値が一部のフォロワーエージェントだけに送信され、各エージェントが近傍と交信しながら、協調して指令値に追従するという同期追従制御が活発に研究されている。本研究では、直接受信できない指令値や、エージェントのモデリング誤差や相互干渉などを、近傍通信を介して推定するという分散型信号推定機構を備え持つ実用的分散型同期追従制御系について研究し、いくつかの新しい手法を提案した。これらの手法について、誤差信号の有界性や過渡特性を理論的に解析し、制御性能を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

リーダー指令値を直接受信できない実非線形エージェントが、指令値状態を有限時間分散型推定器で推定して共有できれば、非線形システム制御の分野で培われてきた適応制御やロバスト制御手法をマルチ非線形エージェントシステムへ拡張する道が開ける。

ロボットの協調制御や電力ネットワークにおける分散型発電装置の同期化制御及び外乱や故障の推定と対応といった実用上重要な制御課題に対して、提案方法の有効性が確立できれば、生産効率の向上や、次世代電力ネットワークの整備と発展に、制御工学の実用性を強くアピールすることができる。

研究成果の概要(英文)：Multiple agent systems, where the agents interact mutually and cooperatively to achieve some desired tasks have received significant attention recently. Especially, the consensus tracking problem, where only a few follower agents can receive the leader agent's information has been studied extensively. In this situation, the follower agents are controlled to track the leader through cooperative information change with their neighbors. In this research project, we proposed some new methods for the consensus tracking problem in the presence of nonlinear uncertainties and disturbances. Especially, we adopted distributed signal (leader's reference, nonlinear uncertainties, disturbances, etc.) estimation mechanisms to construct some new control systems. The control performance has been clarified through rigorous theoretical analysis of the error signal bounds and transient property.

研究分野：制御工学

キーワード：マルチエージェントシステム 分散制御 協調制御 信号推定

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

複数の動的エージェントが相互作用しながら、大域的な目的を達成するというマルチエージェントシステムの制御は近年注目されている。リーダーの指令値が一部のフォロアー(追従者)エージェントだけに送信され、各エージェントが近傍と通信しながら、協調して指令値に追従するという同期追従制御が活発に研究されている。とりわけ、不確かさを有する非線形実システムの協調制御手法(ロボットの協調制御、分散発電装置の電圧・周波数同期追従など)の確立は、実用上重要であり、発展が期待される。

これまでの研究は、簡単な二重積分器モデルを中心に行われてきた。前述の実システムへの応用は、それほど容易ではない。通信ネットワーク行列と不確かな非線形特性が複雑に絡み合い、制御系の設計や性能解析の困難さが顕著になるからである。

直接受信できない指令情報、及びエージェントの非線形不確かさと相互干渉を、それぞれ任意に指定できる有限時間内で推定できれば、上記の問題点解決の糸口となる。

本研究では、直接受信できない指令値やエージェントのモデリング誤差や相互干渉などを推定する分散型有限時間信号推定機構を備え持つ実用的分散型ロバスト非線形同期追従制御系を提案する。とくに、現有の有限時間安定性理論に基づいた手法の問題点を改善し、推定誤差が初期誤差によらず、任意に短い有限時間内にゼロに収束させることができる。

上記の分散型信号推定機構を確立できると、マルチロボットや、分散型電源による電力ネットワーク(マイクログリッド)などの協調制御において、通信ネットワーク行列と非線形不確かさや干渉による相乗影響に対処しやすくなる。また、各エージェントが直接受信できない指令値情報を任意の短い有限時間で推定できるので、高度な適応ロバスト機構を用いた実用的同期追従制御系の構築が容易になると期待される。さらに、外乱や故障などを短い有限時間で推定し、いち早く補償することが可能となるというロバストな制御システムの構築も期待される。

2. 研究の目的

複数のエージェントのうち、一部だけが指令値情報を受信でき、全体が近傍通信を介して、指令値に追従するという同期追従制御の手法をロボットや発電機などに適用しようとする場合、非線形の不確かさと通信ネットワーク行列が複雑に絡み合い、制御系の設計と解析が困難になる。本研究では、直接受信できない指令値や、エージェントのモデリング誤差や相互干渉などを、近傍通信を介して推定するという分散型信号推定機構を備え持つ実用的分散型同期追従制御系をいくつか提案する。

本研究では、まず、近傍通信を介して推定するという分散型有限時間信号推定機構を備え持つ実用的分散型同期追従制御系を提案する。有限時間安定性理論を用いて、分散型信号推定の性能(指定した有限時間でゼロに収束)を理論的に解明し、制御系全体の性能も明らかにする。

また、相対位置誤差の情報のみに基づく二次非線形運動系の出力フィードバック同期追従制御系を提案する。各エージェントの非線形不確かさと未知な相互作用をハイゲインオブザーバで推定して補償している。

さらに、同期追従制御誤差の過渡特性を事前に指定できる非線形システムの同期追従制御系も提案する。各エージェントの非線形不確かさは有限時間外乱オブザーバで推定している。

3. 研究の方法

制御技術の方法論的研究が中心であるので、研究代表者1人を中心に研究を行ってきた。大学院生数名の協力を得て、シミュレーションを行った。

具体的には、以下の方針で研究を進めてきた。

(1) 文献の検索、新しい手法の提案と理論的性能解析。

(2) Matlab を用いた計算機上のシミュレーションにより、開発する手法の性能や設計方針の検討。

(3) 国内会議と国際会議での口頭発表。

(4) 国際雑誌での研究成果の公表。

4. 研究成果

高次の非線形マルチエージェントシステムに対して、有限時間安定性理論に基づいた指令値推定器を提案し、高次の非線形マルチエージェントシステムの同期追従制御系を構築した。一部のエージェントだけが指令値とその必要次数までの微分を受信できる場合、各エージェントに次数相当の個数の積分器の縦続を設け、指令値の各次数の微分に対応させている。そして、各積分器に分散型有限時間指令値推定器を構築している。従来複雑であるとされてきた高次の非線形システムマルチエージェントシステムの同期追従制御が著しく簡単になる利点を有する。研究成果を雑誌論文で発表した。

移動体ロボットなどについては、コスト低減のため、速度センサーを装備せず、また、位置計測においては、絶対位置より相対位置を交換したほうが低コストにつながる。そこで、従来の適応制御で使われていた速度推定を直接必要としないK-filterの手法をマルチエージェントシステムに適用して、新しい制御系の構築手法を開発した。その意義として(1)複数の移動体の協調制御を行うとき、安価な相対位置センサーだけでよい。(2)種々の不確かさや外乱が作用するときに、それらを推定し、情報を交換しながら、ロバストな制御系の構築が可能である。

研究成果を学会発表 と雑誌論文 で発表した。

ミスマッチの不確かな非線形特性や外乱をもつエージェントに対して、同期追従誤差の過渡的特性と終局的特性を事前に指定できるロバスト制御器を開発して、良好な結果が得られた。次数の高い非線形システムに対して、バックステッピング設計手法と有限時間外乱オブザーバを融合させた手法によって、外乱の影響を低減させている。その意義として(1)複数のエージェントの協調制御を行うとき、事前に制御性能を指定できる。環境や外乱が急激に変化しても、制御性能が事前に指定した範囲内に保証される。(2)種々の不確かさや外乱が作用するときに、それらを有限時間で推定し、情報を交換しながら、ロバストな制御系の構築が可能である。研究成果を学会発表 と雑誌論文 で発表した。

ほかに、マルチエージェントによる分散的かつ協調的システムパラメータ推定手法についても、海外の研究者と共同で開発した。従来手法では、入力信号にも雑音がある場合、推定パラメータにバイアスが生じるが、ネットワーク上の各推定器がそれぞれ近隣の推定器と情報を交換しながら、不偏推定値を得るアルゴリズムを提案し、良好な結果を得た。バイアス補償 LMS 法、バイアス補償逐次最小二乗法、全最小二乗法を近接勾配法で解いた手法などが提案されている。研究成果を学会発表 と雑誌論文 で発表した。

ほかに関連した研究として、以下の研究成果を得た。

ミスマッチの不確かさを有する semi-strict feedback form の非線形システムのロバスト制御を提案した。バックステッピングの各設計ステップにおいて、まず非線形減衰項を設け、システムの Input-to-State practical Stability を保証した上で、ミスマッチの不確かさを有限時間推定器で推定して補償するという手法である。さらに、本手法を複雑な非線形特性を有する三重水槽の水位追従制御に適用し、良好な性能を得た。研究成果を学会発表 と雑誌論文 で発表した。

さらに、変数誤差システムに対する適応フィルタや、2 チャンネル通信システムのブラインド同定などについても研究成果が得られ、学会発表 と雑誌論文 で発表した。

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文](計7件)

Zi-Jiang Yang: Distributed prescribed performance control for consensus output tracking of nonlinear semi-strict feedback systems using finite-time disturbance observers, International Journal of Systems Science, 査読有, Vol. 50, No. 5, 989/1005 (2019)

<https://doi.org/10.1080/00207721.2019.1586006>

L. Jia, C. Zheng, A. Katerega, Zi-Jiang Yang: Distributed diffusion bias-compensated LMS for node-specific networks, Signal Processing, 査読有, Vol. 160, 21/31 (2019)
<https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2019.01.015>

Zi-Jiang Yang, H. Sugiura: Robust nonlinear control of a three-tank system using finite-time disturbance observers, Control Engineering Practice, 査読有, Vol. 84, 63/71 (2019)

<https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2018.11.013>

Zi-Jiang Yang: Robust consensus tracking of second-order nonlinear systems using relative position information by K-filter and disturbance observer based control, International Journal of Systems Science, 査読有, Vol. 48, No. 16, 3117/3129 (2018)
<https://doi.org/10.1080/00207721.2018.1533600>

L. Jia, J. Lou, Zi-Jiang Yang: Blind adaptive identification of two-channel systems using bias-compensated RLS algorithm, International Journal of Adaptive Control and Signal Processing, 査読有, Vol. 32, No. 2, 301/315 (2018)
<https://doi.org/10.1002/acs.2842>

Zi-Jiang Yang: Robust control of nonlinear semi-strict feedback systems using finite-time disturbance observers, International Journal of Nonlinear and Robust Control, 査読有, Vol. 27, No. 17, 3582/3603 (2017)
<https://doi.org/10.1002/rnc.3756>

Zi-Jiang Yang: Robust consensus tracking control of higher-order uncertain non-linear systems via cascaded finite-time Estimation of reference states, IET Journal of Control Theory & Applications, 査読有, Vol. 10, No.11, 1231-1239 (2016)
DOI: 10.1049/iet-cta.2015.1016

[学会発表](計7件)

Q. Tang, L. Jia, S. Kanae, Zi-Jiang Yang: Adaptive filtering of EIV-FIR system by solving eigenvalue problems, Proceedings of the 37th Chinese Control Conference, Wuhan, China (July 25-27, 2018).

Z. Wang, L. Jia, Zi-Jiang Yang: Multi-task total least-squares adaptation over networks, Proceedings of the 37th Chinese Control Conference, Wuhan, China (July 25-27, 2018).

Zi-Jiang Yang: Prescribed performance control for consensus output tracking of nonlinear systems, Proceedings of the 2018 IEEE 27th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), Cairns, Australia (June 13-15, 2018).

Zi-Jiang Yang: Robust consensus tracking control of second-order nonlinear systems without using velocity information, Proceedings of the 2017 International Conference on Advanced Mechatronic Systems, Xiamen, China (December, 6-9, 2017).

W. Han, L. Jia, S. Kanae, Zi-Jiang Yang: Bias-compensated LMS algorithm for sparse systems over adaptive network, Proceedings of the 36th Chinese Control Conference, Dalian, China (July 26-28, 2017).

Zi-Jiang Yang, H.Sugiura: Robust nonlinear control of a three-tank system in the presence of mismatched uncertainties, Preprints of the 20th World Congress, The International Federation of Automatic Control Toulouse, France (July 9-14, 2017).

Zi-Jiang Yang: A finite-time disturbance compensation approach to robust control of nonlinear semi-strict feedback systems, Proceedings of the 2016 International Conference on Advanced Mechatronic Systems, Melbourne, Australia (November 30-December 3, 2016).

[図書](なし)

[産業財産権](なし)

[その他]

ホームページ等

<http://yoh.ise.ibaraki.ac.jp/>

6. 研究組織

(1)研究分担者

なし

(2)研究協力者

なし

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。