

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年5月31日現在

機関番号：25406  
 研究種目：基盤研究(C)  
 研究期間：2010～2012  
 課題番号：22560405  
 研究課題名（和文） 分布系を考慮した大規模複雑動的システム理論とその生態環境システムへの応用  
 研究課題名（英文） Theory of Large Scale Complex Systems with Distributed Parameter Structures and Its Applications to Environmental Systems  
 研究代表者  
 呉 漢生 (WU HANSHENG)  
 県立広島大学・経営情報学部・教授  
 研究者番号：30253032

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、分布系に基づく大規模複雑動的システムの理論基礎を構築していくことを目的としている。まず、そのようなシステムを、相互関連のある大規模動的システムとして、定式化し、解析および制御手法を開発した。次に、不確かさ、むだ時間、非線形性、適応性、状態推定などの様々な実際的な要素を考え、分布系に基づく大規模複雑動的システムの理論的な体系を基本的に完成させた。さらに、その理論研究を行うとともに、大規模生態環境システムに対し、生態最適長期管理システム、河川水質管理システムなどを具体的に構築し、数値例を用いて、シミュレーションを行いました。最後に、本研究で得られた結果を整理し、国内外の学術専門誌および国際学会で発表した。

研究成果の概要（英文）： In this research project, the control problem of large scale complex dynamical systems with distributed parameter structures is considered. Firstly, since such a class of large scale dynamical systems can be characterized by a large number of variables representing system, a strong interaction between the system variables, and a complex structure, such a large scale dynamical system is considered as a set of interconnected subsystems, and referred to as large scale interconnected dynamical systems. Thus, the problem of decentralized control of large scale interconnected dynamical systems with distributed parameter structures is discussed. Secondly, for some practical dynamical systems, uncertainties, nonlinearities, robustness, adaptation, and state estimate problems have been also discussed. Finally, as an application of the theoretical results, the problem of water pollution control is considered for uncertain river time-delay systems due to industrial waste treatment facilities and the corresponding simulations are given to demonstrate the validity of the theoretical results.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
2012年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・システム工学

キーワード：システム工学・環境システム工学・制御工学

## 1. 研究開始当初の背景

大規模動的システム理論は、20世紀70年代から現在今まで、システム工学の中において非常に重要な研究分野のひとつとなっている。それは、応用領域で、交通システム、生態システム、環境システム、社会システム、電力システム、ネットワーク制御システム(Networked Control Systems)、および工学的システムなどのようなシステムが、一般的に大規模でかつ複雑になっているからである。今までの大規模動的システム理論に関する研究は、主に集中定数システムに限っている。集中系に基づく大規模動的システム理論の構築は、非線形的な相互関連項のある大規模システムを除くと、ほぼ完成されていると考えられる。

一方、波動、振動、熱伝導、熱伝達、拡散などの現象に見られるように、動的システムの状態変数がむだ時間などを含んでいる。一般的に、むだ時間などを有する動的システムは、分布定数システムとも呼んでいる。分布定数システムは、明らかに集中定数システムより複雑で、今もそれに関する研究が発展し続けている。

分布系に基づく大規模動的システムが、サブ分布定数システムから構成され、各サブ分布定数システムの間に関連しているとすれば、一般的な分布定数システムより、さらに複雑となっていることである。一方、生態環境システムのような大規模動的システムは、その状態変数が明らかに、むだ時間などに依存している。さらに、考えている領域をいくつかの小領域に区分け、各々の小領域をサブ分布定数システムで表現することによって、それぞれのサブ分布定数システムをその局所的な情報に基づいて生態環境システム全体を解析・制御することが必要となっている。

## 2. 研究の目的

本研究では、不確かさ、非線形性、適応性、ロバスト性、状態推定などのいろいろな実際的な要素を含んで、分布系に基づく大規模複雑動的システムに関する理論研究とともに、大規模生態環境システムに対し、生態最適長期管理システムや湖沼水質管理システムなどのような大規模分布定数システムを具体的に構築する試みを行う。

本研究課題は、システム工学分野において、分布系に基づく大規模複雑動的システムに対し、理論的な解析手法を探索することで、得られた理論成果を生態環境システムの具体的な構築への応用である。

一方、生態環境システムを構築する過程に、すでに存在している理論手法を適用できな

い場合、逆に大規模複雑動的システムに関する理論研究を促進する。これによって、分布系に基づく大規模複雑動的システムに関する理論研究とその生態環境システムの具体的な構築への応用研究は、相互に促進することができる。さらに、得られた理論結果は、様々な実際的なシステムに関する構築と解析に使用できる。従って、この研究は、主に以下のような目的を達成したい。

(1) 分布系に基づく大規模複雑動的システムの理論基礎を構築していく。そのようなシステムを、相互関連のある大規模動的システムとして、定式化し、解析手法を開発する。さらに、不確かさ、むだ時間、非線形性、適応性などの様々な実際的な要素を考え、分布系に基づく大規模複雑動的システムの理論的な体系を基本的に完成させる。

(2) 完成させた大規模分布定数システム理論を用いて、大規模生態環境システムに対し、生態最適長期管理システム、湖沼水質管理システムを具体的に構築し、生態最適長期管理戦略や水質を維持する方法などを定量的に解析する。

## 3. 研究の方法

本課題の研究代表者が提案しているいくつかのシステム制御手法を用い、目的を達成するため、以下の手順で本課題に関する研究を行っていく。

(1) 大規模動的システムの非線形的な相互関連項が既知な連続関数であるとする。そのような大規模動的システムの分散安定性の解析手法を提案していく。

(2) 非線形的な相互関連項が部分的に既知であるとする。つまり、関連項に不確かさが存在している。このとき、そのような大規模動的システムを適応分散的に安定させることができる解析手法を提案する。

(3) 関連項に不確かさだけでなく、分布系を考慮して、つまり、むだ時間なども含まれていることを考え、そのような大規模動的システムの適応分散安定性を解析する。

(4) 生態最適長期管理システムや湖沼水質管理システム等のような大規模生態環境システムの実態を勘案して、大規模生態環境システムの実態をできるだけ表現できるような大規模分布定数システムを定式化していく。そして、定式化の大規模生態環境システムの安定性や最適性を解析する。

(5) さらに、不確かさ、非線形性、適応性、ロバスト性、状態推定などの様々な実際的な要素を考慮し、実際的な生態環境システムに応用できるように、大規模複雑動的システムの理論基礎を構築し続ける。

#### 4. 研究成果

本研究で得られた結果は、15件の学術論文として、国内外の学術専門誌、およびIEEEとIFACの主催の国際会議に発表した(すべての発表論文に対して、査読有り)。主な研究結果は以下のように分類されている。

(1) 不確かさ及び時変むだ時間などをもつ大規模動的システム理論について、各サブシステムの間非線形的な相互関連項のある大規模複雑動的システムの理論解析と制御手法に対し、いままでまだよく解決されていない事項に関する研究を行った。

非線形的な相互関連項において時変むだ時間をもつ不確定大規模動的システムに対して、新しい形をもつ学習則を導入し、擬リアプノフ汎関数を用いて、適応ロバスト制御という手法を新たに提案した。それによって、時変むだ時間をもつ不確定大規模動的システムの一様終局有界性を保証できる分散的適応ロバスト制御則を導出することができる。特に、得られた分散的適応ロバスト制御則は、非常に簡単な構造を持ち、むだ時間や相互関連項などに関連していない。つまり、本研究で得られている分散的適応ロバスト制御則は従来の分散的適応ロバスト制御則と異なり、むだ時間や相互関連項の限界などを含んでいない。従って、むだ時間や相互関連項などが未知であっても、分散的適応ロバスト制御則を設計することができる。

この研究成果は、実際的なシステム制御問題に対し、非常に重要である。

(2) 上に得られた理論的な成果を用い、生態環境システムのような実際的な大規模複雑動的システムなどへの応用に関する研究を行った。

ここで、生態環境システムの例の一つとして、不確かさ及び時変むだ時間などをもつ河川水質管理システムを構築し、その状態変数となるBOD(生化学的酸素要求量)とDO(容存酸素)の濃度の最適値が維持できるような制御則を導出した。

一方、生態環境システムのもう一つの例として、不確かさ及び時変むだ時間などをもつ生態最適長期管理システムを考えた。提案したシステムの手法で生態システムの最適な平衡状態を維持するような最適長期管理戦略を導出した。

さらに、いくつかの数値的なシミュレーションを行った。それらのシミュレーションは、本研究で提案したシステム制御手法の有効性を検証した。

(3) 不確かさ、非線形性、適応性、ロバスト性、状態推定などの様々な実際的な要素を考慮し、実際的な動的システムに応用できるように、大規模複雑動的システムの理論基礎を構築し続ける。

特に、実際的なシステムの内部状態を計測できない場合に対して、簡単な構造をもつ適応ロバスト状態観測器を提案し、実際的なシステムの状態を推定できることを理論的に分析した。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計7件)

[1] Hansheng Wu: A Class of Adaptive Robust State Observers with Simpler Structure for Uncertain Nonlinear Systems with Time-Varying Delays, IET Control Theory and Applications, 査読有、Vol. x, No. x, pp. xxx-xxx, 2013 (掲載確定).  
DOI: 10.1049/iet-cta.2012.xxxx

[2] Hansheng Wu: Adaptive Robust Stabilization for a Class of Uncertain Nonlinear Time-Delay Dynamical Systems, International Journal of Systems Science, 査読有、Vol. 44, No. 2, pp. 371-383, 2013.  
DOI: 10.1080/00207721.2011.602483

[3] Hansheng Wu: Decentralized Adaptive Robust Control of Uncertain Large Scale Interconnected Systems with Multiple Time-Varying Delays, International Journal of Systems Science, 査読有、Vol. 43, No. 10, pp. 1842-1854, 2012.  
DOI: 10.1080/00207721.2011.554914

[4] Hansheng Wu: Decentralised Adaptive Robust Control of Uncertain Large Scale Non-linear Dynamical Systems with Time-Varying Delay, IET Control Theory and Applications, 査読有、Vol. 6, No. 5, pp. 629-640, 2012.  
DOI: 10.1049/iet-cta.2011.0015

- [5] Hansheng Wu: Memoryless Linear Adaptive Robust Controllers of Uncertain Systems with Nonlinear Time-Varying Delayed State Perturbations, IEEJ Transactions on Electronics, Information & Systems, 査読有、Vol.131, No.12, pp.2172-2180, 2011.  
DOI: 10.1541/ieejieiss.131.2172
- [6] S. Shigemaru and Hansheng Wu: Adaptive Sliding Mode Controller Design for Decentralized Model Following of Large Scale Systems with Time-Varying Delay Interconnections, International Journal of Advanced Mechatronic Systems, 査読有、Vol.2, No.5/6, pp.369-378, 2010.
- [7] Hansheng Wu: Adaptive Robust Control of Uncertain Dynamical Systems with Multiple Time-Varying Delays, IET Control Theory and Applications, 査読有、Vol.4, No.9, pp.1775-1784, 2010.  
DOI: 10.1049/iet-cta.2010.0009

[学会発表] (計8件)

- [1] Hansheng Wu: A Class of Adaptive Robust Controllers with Simpler Structure and Its Application to Uncertain Ecological Systems with Time-Delay, Proceedings of the 2012 IEEE Multi-Conference on Systems and Control (IEEE MSC2012), 査読有、pp.1316-1321, Dubrovnik, Croatia, October 2012.  
DOI: 10.1109/CCA.2012.6402369
- [2] Hansheng Wu: Design of Adaptive Robust State Observers with Simpler Structure for a Class of Uncertain Time-Delay Systems, Proceedings of the 7th IFAC Symposium on Robust Control Design (IFAC ROCOND2012), 査読有、pp.195-200, Aalborg, Denmark, June 2012.  
DOI: 10.3182/20120620-3-DK-2025.00011
- [3] Hansheng Wu: Adaptive Robust Control Schemes of Uncertain Time-Delay Systems and Its Applications to Water Pollution Control Systems, Proceedings of the 9th IEEE Inter-

national Conference on Control and Automation (IEEE ICCA'2011), 査読有、pp.255-260, Santiago, Chile, Dec. 2011.  
DOI: 10.1109/ICCA.2011.6137891

- [4] Hansheng Wu: Adaptive Robust Control Design of Uncertain Nonlinear Time-Delay Dynamical Systems, Proceedings of the 10th IEEE Africon, 査読有、pp.1-6, Livingstone, Zambia, Sept. 2011.  
DOI: 10.1109/AFRCON.2011.6071969
- [5] Hansheng Wu: Decentralized Adaptive Robust Control of Uncertain Large Scale Systems Including Time-Varying State Delays in the Nonlinear Interconnections, Proceedings of the 18th IFAC World Congress, 査読有、pp.2680-2685, Milano, Italy, Sept. 2011.  
DOI: 10.3182/20110828-6-IT-1002.00679
- [6] Hansheng Wu: Adaptive Robust Stabilization for a Class of Uncertain Nonlinear Systems with External Disturbances, Proceedings of the 36th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON'2010), 査読有、pp.53-58, Phoenix, AZ, USA, November 2010.  
DOI: 10.1109/IECON.2010.5675371
- [7] Hansheng Wu: Adaptive Robust Optimal Long-Term Management Schemes for a Class of Ecological Systems with Partially Known Uncertainties, Proceedings of the 18th IEEE Mediterranean Conference on Control and Automation (IEEE MED'2010), 査読有、pp.850-855, Marrakech, Morocco, June 2010.  
DOI: 10.1109/MED.2010.5547764
- [8] Hansheng Wu: Memoryless Adaptive Robust State Feedback Controllers of Uncertain Dynamical Systems with Time-Varying Delays, Proceedings of the 18th IEEE Mediterranean Conference on Control and Automation (IEEE MED'2010), 査読有、pp.646-651, Marrakech, Morocco, June 2010.  
DOI: 10.1109/MED.2010.5547798

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吳 漢生 (WU HANSHENG)  
県立広島大学・経営情報学部・教授  
研究者番号：30253032

(2) 研究分担者

重丸 伸二 (SHIGEMARU SHINJI)  
県立広島大学・経営情報学部・講師  
研究者番号：20347610