

機関番号：14603

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21760333

研究課題名(和文) 異空間における制御構造の再解釈に基づく制御理論の構築

研究課題名(英文) Control theory based on control systems reconfiguration on different topological spaces

研究代表者

中村 文一 (NAKAMURA HISAKAZU)

奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・助教

研究者番号：70362837

研究成果の概要(和文)：本研究では、研究代表者らが提案した最小射影法と局所同次制御に対し、制御システムが定義された空間とは異なる空間において制御構造の再解釈を行うことによる理論展開を行った。その結果、新たな制御手法として多層最小射影法、無限層最小射影法、特異点配置法、探索制御法、局所同次適応制御則を開発することに成功した。また、最小射影法に対し二輪車両型移動ロボット、局所同次制御に対しロボットアームを使った実機実験により有効性を確認することに成功した。

研究成果の概要(英文)：In this research project, we have developed two control methods “the minimum projection method” and “the locally homogeneous control” based on control systems reconfiguration on different topological spaces from original manifolds that control problems are defined. As a result, we have successfully developed many control strategies: the multilayer minimum projection method, the multilayer minimum projection method with infinite layers, the singular point assignment method, the search control method and locally homogeneous adaptive control method. Furthermore, the effectiveness of the proposed control methods are confirmed by experiments.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2010年度	1,500,000	450,000	1,950,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：非線形制御理論

科研費の分科・細目：電気電子工学・制御工学

キーワード：非線形制御，多様体，制御Lyapunov関数，トポロジー

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 制御理論分野では、従来は局所的に制御することすら難しかったため線形制御理論に関する研究が大半であったが、近年産業界から制御則の大域化を求める声が高まり非線形制御理論の確立が求められていた。非線

形制御理論の難問として、制御対象がユークリッド空間では無い場合の制御問題と、収束速度を保証する制御則の設計問題が知られている。これらの難問に対し数多くの研究者が取り組んでいたものの、各論を超える研究成果は得られていなかった。

(2) われわれはこれらの難問に対し、制御問

題が定義された空間と複数の異なる空間を、解析的・幾何学的な手法に基づいて関連付けることによりこの問題を解決できる可能性があることを発見し、最小射影法と局所同次制御を開発した。

## 2. 研究の目的

本研究では、異空間における制御構造の再解釈に基づき最小射影法と局所同次制御を発展させることを目指した。

## 3. 研究の方法

非線形制御理論に位相幾何学を組み込むことによって理論を発展させるとともに、実機実験による有効性検証を行った。

## 4. 研究成果

(1) 最小射影法を発展させることにより、多層最小射影法、無限層最小射影法を開発した。さらに、最小射影法における条件の緩和に成功し、特異点配置法と探索制御法の開発に成功した。これらの研究成果は国際学術論文誌・国際会議で発表し、大きな反響を得られた。

(2) 局所同次逆最適制御に関する研究を完成させ IEEE Transactions on Automatic Controlにおいて発表した。発表後国際的に高い評価が得られた。また、適応制御との融合を図り、局所同次適応制御の開発に成功した。

(3) 局所同次制御をロボットアームに適用し、有効性を確認した。局所同次性に基づく制御則は実機実験において理論同様の収束特性を示すことを明らかにすることができたとともに、同次有限時間整定制御が従来の指数安定化制御則に比べて高い制御性能を示すことを明らかにすることができた。

## 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. 福井善朗, 中村文一, 西谷紘一: 最小射影法を用いた二輪車両の障害物回避制御, 計測自動制御学会論文集, Vol. 47, No. 2, 90-99, 2011, 査読有.

2. Y. Satoh, H. Nakamura, N. Nakamura, H. Katayama, H. Nishitani, Universal control formula for feedback linearizable systems with local LQ performance, SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, Vol. 4, No. 1, 22-28, 2011,

査読有.

3. N. Nakamura, H. Nakamura, H. Nishitani: Global inverse optimal control with guaranteed convergence rates of input affine nonlinear systems, IEEE Transactions on Automatic Control, Vol. 56, No. 2, 358-369, 2011, 査読有.

4. 大澤修一, 中村文一, 西谷紘一: デジタルフィルタ設計法を利用した拡張カルマンフィルタの誤差分散行列の選定法, 計測自動制御学会論文集, Vol. 46, No. 12, 733-736, 2010, 査読有.

5. H. Nakamura, Y. Fukui, N. Nakamura, H. Nishitani: Multilayer minimum projection method for nonsmooth strict control Lyapunov function design, Systems & Control Letters, Vol. 59, No. 9, 563-570, 2010, 査読有.

6. H. Nakamura, Y. Yamashita, H. Nishitani: Minimum projection method for nonsmooth control Lyapunov function design on general manifolds, Systems & Control Letters, Vol. 58, No. 10-11, 716-723, 2009, 査読有.

7. N. Nakamura, H. Nakamura, Y. Yamashita, H. Nishitani: Homogeneous stabilization for input affine homogeneous systems, IEEE Transactions on Automatic Control, Vol. 54, No. 9, 2271-2275, 2009, 査読有.

[学会発表] (計 34 件)

1. 中村文一, 中村奈美, 的場俊亮, 片山仁志: 適応局所同時制御による磁気浮上系の有限時間整定制御, 第 11 回計測自動制御学会制御部門大会, 那覇, 1-6, 2011.3.18.

2. 的場俊亮, 中村奈美, 中村文一, 西谷紘一: 入力変換による同次近似システムを利用した局所制御性能を保証する大域的制御則設計, 第 11 回計測自動制御学会制御部門大会, 那覇, 1-6, 2011.3.18.

3. 中村奈美, 中村文一: 位相空間上の Lyapunov 関数, 第 11 回計測自動制御学会制御部門大会, 那覇, 1-4, 2011.3.17.

4. 福井善朗, 中村文一, 西谷紘一: 最小射影法を使った二輪車両の未知空間における探索制御, 第 16 回ロボティクスシンポジウム, 指宿, 640-646, 2011.3.15.

5. H. Nakamura, Y. Fukui, N. Nakamura, H. Nishitani: Multilayer minimum projection method with singular point assignment for nonsmooth control Lyapunov function design, 49th IEEE Conference on Decision and Control (CDC 2010), Atlanta (USA), 5924-5929, 2010.12.17.

6. 的場俊亮, 中村奈美, 中村文一, 西谷紘一: 局所同次非線形制御の実験による制御性能

の比較, 第 39 回制御理論シンポジウム, 大阪, 95-102, 2010.9.27

7. 福井善朗, 中村文一, 西谷紘一: 多層最小射影法を用いた二輪車両の障害物回避, 第 39 回制御理論シンポジウム, 大阪, 141-144, 2010.9.27.

8. 中村文一, 中村奈美, 福井善朗: 無限層最小射影法による制御Lyapunov関数設計, 第 39 回制御理論シンポジウム, 大阪, 145-150, 2010.9.27.

9. 中村奈美, 中村文一: 連結局所コンパクト Hausdorff空間における安定性の必要十分条件, 第 39 回制御理論シンポジウム, 大阪, 159-164, 2010.9.27.

10. H. Nakamura, N. Nakamura, Y. Fukui, H. Nishitani: Desingularization by minimum projection method and its application to rigid body control, 2010 IEEE Multi-conference on Systems and Control (MSC 2010), Yokohama, 1115-1121, 2010.9.9.

11. H. Nakamura, N. Nakamura, Y. Fukui, H. Nishitani: Multilayer minimum projection method with infinite layers, 8th IFAC Symposium on Nonlinear Control Systems (NOLCOS 2010), Bologna (Italy), 1104-1109, 2010.9.3.

12. Y. Fukui, H. Nakamura, H. Nishitani: Minimum projection method for asymptotic stabilization toward a set, SICE Annual Conference 2010, 台北 (台湾), 1573-1576, 2010.8.20.

13. H. Takai, H. Nakamura, N. Nakamura, H. Nishitani: Gait generation of compass-type biped robot via angle control of hip joint, SICE Annual Conference 2010, 台北 (台湾), 1797-1801, 2010.8.20.

14. H. Nakamura: On negative definiteness of derivatives of Lyapunov functions, SICE Annual Conference 2010, 台北 (台湾), 2034-2037, 2010.8.20.

15. Y. Kondo, S. Matoba, H. Nakamura, H. Nishitani: Constrained nonlinear receding horizon control using artificial potential, SICE Annual Conference 2010, 台北 (台湾), 207-210, 2010.8.19.

16. S. Matoba, H. Nakamura, H. Nishitani: High-order numerical integration for receding horizon control with a continuation method, SICE Annual Conference 2010, 台北 (台湾), 211-214, 2010.8.19.

17. Y. Fukui, H. Nakamura, H. Nishitani: Real-time obstacle avoidance of a two-wheeled mobile robot via the minimum projection method, 19th International Symposium on Mathematical Theory of Networks and Systems (MTNS 2010), Budapest

(Hungary), 877-881, 2010.7.6.

18. 坂口寛史, 福井善朗, 中村文一, 西谷紘一: 最小射影法および格子点オブザーバを用いたリアルタイム障害物回避制御, 第 54 回システム制御情報学会研究発表講演会, 京都, 273-274, 2010.5.20.

19. 近藤祐介, 的場俊亮, 中村文一, 西谷紘一: 非線形Receding Horizon 制御における不等式制約のための必要条件, 第 54 回システム制御情報学会研究発表講演会, 京都, 149-150, 2010.5.19.

20. 近藤祐介, 的場俊亮, 中村文一, 西谷紘一: 人工ポテンシャルを用いた制約付き非線形Receding Horizon制御, 第 10 回計測自動制御学会制御部門大会, 熊本, 172-2-1, 2010.3.17.

21. 福井善朗, 中村文一, 西谷紘一: 最小射影法を用いた二輪車両の障害物回避制御, 第 15 回ロボティクスシンポジウム, 吉野, 354-359, 2010.3.16.

22. 高井宗, 中村文一, 西谷紘一: 劣駆動 2 足歩行ロボットの機構特性を活かした歩行制御, 第 15 回ロボティクスシンポジウム, 吉野, 66-73, 2010.3.15.

23. Y. Kakizoe, H. Nakamura, H. Nishitani: Stable hybrid remote manipulation system with adaptive environment observer using time-scale transformation, 48th IEEE Conference on Decision and Control (CDC '09), 上海 (中国), 6070-6077, 2009.12.17.

24. S. Matoba, H. Nakamura, H. Nishitani: Nonlinear receding horizon control via singular value decomposition with error correction method for singular vectors and singular values, 48th IEEE Conference on Decision and Control (CDC '09), 上海 (中国), 1163-1168, 2009.12.16.

25. 高井宗, 中村文一, 西谷紘一: 股関節角度制御によるコンパス型 2 足ロボットの歩容生成, 第 52 回自動制御連合講演会, 大阪, I4-3, 2009.11.22.

26. 中村文一, 福井善朗, 中村奈美: 多層最小射影法を用いた非可縮多様体上の制御 Lyapunov関数設計, 第 38 回制御理論シンポジウム, 大阪, 119-126, 2009.9.14.

27. 中村奈美, 中村文一: 座標変換による制御性能の不変性, 第 38 回制御理論シンポジウム, 大阪, 153-156, 2009.9.14.

28. 柿添有紀, 中村文一, 西谷紘一: 時間軸変換カルマンフィルタを用いたマニピュレータの遠隔操作システム, 第 38 回制御理論シンポジウム, 大阪, 31-36, 2009.9.14.

29. H. Nakamura, Y. Satoh, N. Nakamura, H. Katayama, H. Nishitani: Universal control formula for feedback linearizable systems with local LQ performance, European

- Control Conference 2009 (ECC '09), Budapest (Hungary), 1155-1160, 2009. 8. 25.
30. G. Nishida, H. Nakamura: Variational structure of infinite-dimensional homogeneous systems with dilations, European Control Conference 2009 (ECC '09), Budapest (Hungary), 2572-2577, 2009. 8. 25.
31. H. Nakamura, Y. Yamashita, H. Nishitani: Asymptotic stabilization of nonlinear systems on general manifolds via minimum projection method, European Control Conference 2009 (ECC '09), Budapest (Hungary), 2757-2762, 2009. 8. 24.
32. Y. Satoh, H. Nakamura, N. Nakamura, H. Katayama, H. Nishitani: Robust adaptive control of nonlinear systems with convex input constraints: case study on the magnetic levitation systems, ICCAS-SICE 2009, 福岡, 4411-4416, 2009. 8. 21.
33. S. Matoba, H. Nakamura, H. Nishitani: Comparison of mdLVs based methods for Nonlinear Receding Horizon Control, ICCAS-SICE 2009, 福岡, 681-685, 2009. 8. 18.
34. 中村文一, 山下裕: 最小射影法を用いた非可縮多様体上の安定化制御則設計, 第 53 回システム制御情報学会研究発表講演会, 神戸, 297-298, 2009. 5. 21.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<http://www.rs.tus.ac.jp/~nakamura/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

中村 文一 (NAKAMURA HISAKAZU)

奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・助教

研究者番号: 70362837

### (2) 研究分担者

### (3) 連携研究者