

平成 21 年 6 月 2 日現在

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2006～2008

課題番号：18760316

研究課題名 (和文) 性能限界の解析に基づく制御系における情報伝達遅延の最適化

研究課題名 (英文) Feedback delay optimization based on performance limitation analysis

研究代表者

加嶋 健司 (KASHIMA KENJI)

東京工業大学・大学院情報理工学研究科・助教

研究者番号：60401551

研究成果の概要：

情報伝達遅延が制御性能へ与える影響に関する、当初予定していたすべての理論結果に加え、新たに系の不安定性との双対性を与えた。またこれら一連の基礎理論の研究と並行して進めていた、量子力学系の制御への応用に関する研究においても、制御理論ならではの問題設定により斬新な結果を導いた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,300,000	0	1,300,000
2007年度	1,100,000	0	1,100,000
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	330,000	3,830,000

研究分野：制御工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・制御工学

キーワード：通信ネットワーク、情報伝達遅延、量子力学系、制御性能限界、最適制御

1. 研究開始当初の背景

通信ネットワークを介した制御系の構築やシステムバイオロジーなど制御工学の新しい可能性を切り拓き得る最新の課題において、情報伝達遅延はそれらの系の挙動に大きな影響を与える。一般に情報伝達遅延は制御性能を劣化させることがよく知られているが、その影響は一様ではなく、理論的に見ても完全に理解されているとは言えない。

2. 研究の目的

本研究では、情報伝達遅延が制御性能に与える影響を理論的に明らかにした上で、従来の"遅延が存在しても機能する制御系"から"制御系設計において好ましい遅延の特徴づけ"さらには"遅延が存在

するからこそ機能する制御系"の解析・設計を目指す。

3. 研究の方法

本研究で、
(1) 状態むだ時間系に対する制御性能限界の導出、
(2) むだ時間がこれに与える影響に対する理論的考察、
(3) 数値シミュレーションおよび応用研究による、実用的な有効性の検証、
の3つを軸に研究を進める。

4. 研究成果

前項の3点についてそれぞれ述べる。

(1) 広いクラスの状態むだ時間系のみならず、梁、拡散系など多くの重要な無限次元系を扱える枠組みにおいて、最適制御問題の一般解を与えた。

(2) (1)の結果をもとに系のパラメータが性能限界に与える公式を陽に導出した。特に、Fig. 1に示す遅延フィードバック系は、むだ時間が存在することで制御がしやすくなるという直感に反する興味深い例となっていることを理論的に示した。

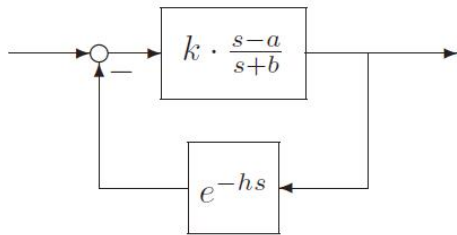


Fig. 1 遅延フィードバック系のブロック線図。遅延長 h に関して単調に最適制御性能が改善する。

(3) 応用研究として、量子力学系の制御へ取り組み、制御理論ならではの斬新な結果を導いた。大きく2つに分けてその具体例を示す。

a) Fig. 2に示す量子スピン系を対象とする。既存の理論研究においては、理想的な状況を想定したモデルが用いられていた。しかし、そうして得られた結果を現実的な制御系に適用するとき、そこには幾つかの障害がある。中でも、状態推定および制御入力のための計算時間は制御性能を著しく劣化させるものとして問題視されている。本研究ではこの遅延の影響下でも制御目標を達成する制御則を導出し、その理論的な証明を与え、数値シミュレーションによりその有効性を確認した。

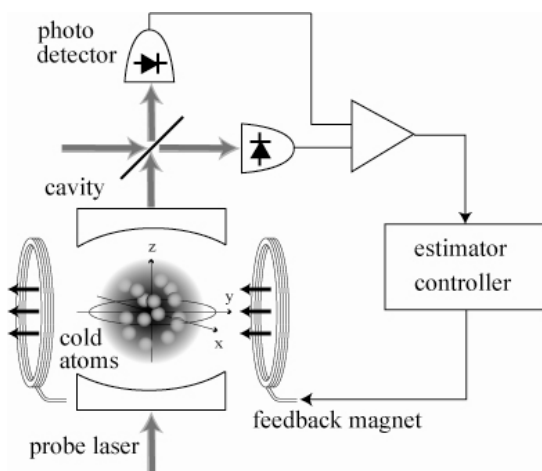


Fig. 2 連続測定にもとづく量子スピン系のフィードバック制御系

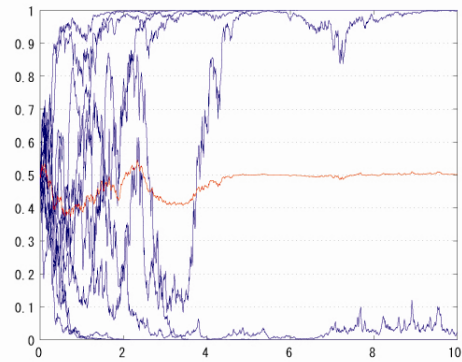


Fig. 3 (横軸は時間、縦軸は目標状態からの距離) 制御しない場合。目標状態へは必ずしも収束しない

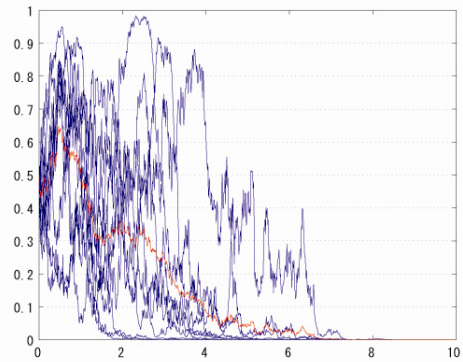


Fig. 4 (横軸は時間、縦軸は目標状態からの距離) 遅延存在下で制御を行なった場合。目標状態へ収束する

b) 調和振動子系などの線形量子系のフィードバック制御系における遅延の影響を理論的に考察した。従来結果においては、測定装置の設定を変えることで、制御性能が向上するという研究が報告されていた。一方、遅延存在下における制御性能の劣化度合いは Fig. 5のように与えられる。切片の値(遅延が存在しない場合の制御性能)は変えられても、同じ傾きの線形依存性は変えられない。

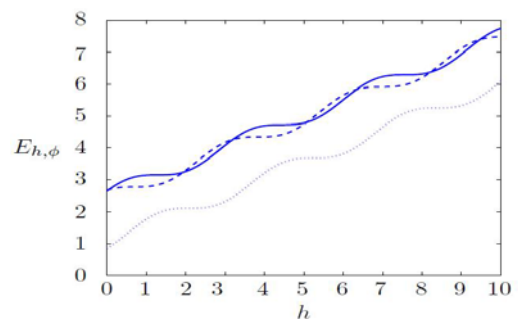


Fig. 5 (横軸は遅延長、縦軸は制御性能の劣化度合いに対応する指標) 複数の線は異なる測定装置に対応する。

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 9 件)

①Kenji Kashima and Naoki Yamamoto, Control of quantum systems despite feedback delay, IEEE Transactions on Automatic Control, 54, 876/881, 2009, 査読有

②Kenji Kashima, A new expression for the H^2 performance limit based on state-space representation, Automatica, 45, 283/290, 2009, 査読有

③加嶋健司, 西尾和記, 状態推定遅延を含む 2 次元量子スピン制御系の安定化、計測自動制御学会論文誌、44、558/565、2008、査読有

④加嶋健司、二乗和緩和を用いた遅延存在下の量子スピン制御系設計、システム制御情報学会論文誌、21、111/119、2008、査読有

⑤Kenji Kashima and Yutaka Yamamoto, On standard H^∞ control problems for systems with infinitely many unstable poles, Systems and Control Letters, 57, 309/314, 2008, 査読有

⑥ Kenji Kashima and Yutaka Yamamoto, Finite rank criteria for H^∞ control of infinite-dimensional systems, IEEE Transactions on Automatic Control, 53, 881/893, 2008, 査読有

⑦Kenji Kashima, Yutaka Yamamoto and Hitay Özbay, Parameterization of suboptimal solutions of the Nehari problem for infinite-dimensional systems, IEEE Transactions on Automatic Control, 52, 2369/2374, 2007, 査読有

⑧加嶋健司、西尾和記、離散時間系における最適 H^2 制御性能の非最小位相特性による特徴付け、計測自動制御学会論文誌、43、656/662、2007、査読有

⑨加嶋健司、状態空間表現にもとづく H^2 性能限界の解析表現 -非最小位相特性による最適制御性能の劣化について-、計測自動制

御学会論文集、42、1328/1335、2006、査読有

[学会発表] (計 6 件)

① Kazunori Nishio, Kenji Kashima, Jun-ichi Imura, Optimal control of linear quantum systems despite feedback delay, 47th. IEEE Conference on Decision and Control, 2008/12/11, Cancun (Mexico)

②加嶋健司、状態空間表現にもとづく H^2 制御性能限界表現における極と零点の双対性、第 37 回制御理論シンポジウム、2008/9/19、霧島

③Kenji Kashima, Semi-algebraic problem approach for stability analysis of a class of nonlinear stochastic delay system, 2008 American Control Conference, 2008/6/13, Seattle (USA)

④Kenji Kashima, Global stabilization of two dimensional quantum spin systems despite estimation delay, 46th. IEEE Conference on Decision and Control, 2007/12/14, New Orleans (USA)

⑤Kenji Kashima, A Smith-type predictor for non-minimum phase infinite-dimensional plants and its dual structure, 2007 European Control Conference, 2007/7/5, Kos (Greece)

⑥Kenji Kashima, Takashi Yamamoto, Yutaka Yamamoto, A Smith-type predictor for non-minimum phase infinite-dimensional plants and its dual structure, 45th. IEEE Conference on Decision and Control, 2006/12/15, San Diego (USA)

⑦Kenji Kashima, Yutaka Yamamoto and Hitay Özbay, Parameterization of sub-optimal interpolants for the Nehari problem, 17th. Int' l Symp. on Mathematical Theory of Networks and Systems (MTNS), 2006/7/25, 京都

6. 研究組織

(1) 研究代表者

加嶋 健司 (KASHIMA KENJI)

東京工業大学・大学院情報理工学研究所・助教

研究者番号：60401551

(2)研究分担者
なし

(3)連携研究者
なし