

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 17 日現在

機関番号：55201

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23760397

研究課題名(和文)状態依存むだ時間系のファジィモデリングに基づく解析と制御系設計

研究課題名(英文)Stability analysis and controller design of state-dependent delay systems based on fuzzy modeling

研究代表者

加藤 健一 (Kato, Kenichi)

松江工業高等専門学校・電子制御工学科・講師

研究者番号：70553600

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,500,000円

研究成果の概要(和文)：システム自身の状態に依存してそのシステムのタイムラグ、すなわちむだ時間が変動する状態依存むだ時間系に焦点を当て、その安定性解析法・制御系設計法を構築することを目的に検討を行った。状態依存むだ時間系の一つである伝播信号の跳ね返りを利用して自己の位置制御を行う一種の自己位置制御系を対象にとり、その状態推定が、離散時間の非線形状態方程式としての近似とオブザーバの拡張設計によって精密に行えることをシミュレーションによって確認した。

研究成果の概要(英文)：In this research, we investigated the stability analysis and the controller synthesis of state-dependent delay systems which the delay varies depending on the states. We verified that a state-dependent delay system which the object regulates its position by the signal reflection can be represented as a discrete-time linear parameter varying system and its position can be estimated accurately by an observer.

研究分野：制御工学，メカトロニクス

キーワード：状態依存むだ時間系 ファジィモデリング 安定性解析 制御系設計

1. 研究開始当初の背景

システムの入出力間にタイムラグを有する物理系としてむだ時間系がある。このうち、通信ネットワークにおける輻輳制御モデルや生物学における個体数変動モデル、経済学における市場価格変動モデル、材料学における結晶成長過程モデルなどは、そのシステム自身の状態に依存してシステム内部のむだ時間が変動する状態依存むだ時間系として記述されることが知られている。これまで、我々はその安定限界を見積もるべく、「状態依存むだ時間系を離散時間の非線形状態方程式として近似表現する」という手法を提案し、その解析・制御を既存の制御理論から行おうと試みてきた(図1)。

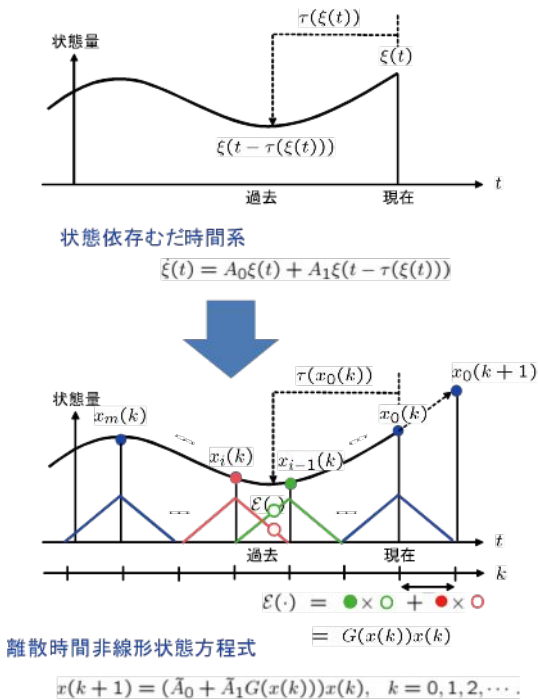


図1：状態依存むだ時間系の近似

2. 研究の目的

本研究では、「状態依存むだ時間系を離散時間の非線形状態方程式として近似表現する」という手法が、アドバンスドファジィ制御理論における考え方に近いことから、その手法を導入して、状態依存むだ時間系に対する一連の安定性解析・制御系設計手法を構築することを目的とした。

3. 研究の方法

これまでの手法は、「元々の状態依存むだ時間系を離散化し、その状態履歴を有限個の状態変数内に格納する」というアイデアと、「むだ時間過去の状態を、区分的線形関数を

要素に持つ非線形ゲインによって状態履歴の補間値として表現する」というアイデアに基づき、元々の系を多項式系として表現することで、その局所漸近安定性を多項式二乗のための数値解析ツール SOSTOOLS を用いた共通リアプノフ関数の探索問題へと帰着させるものであった。しかし、過去の状態を表現するために用意した非線形ゲインがむだ時間の関数として表現されていたため、その安定性の解析・制御系の設計を複雑にしていた。そこで本研究では、この非線形ゲインをむだ時間に応じて複数の定数ゲインが適切な割合で採用されるある種のファジィゲインと見なすことによってこれを回避し、アドバンスドファジィ制御理論の観点からのアプローチを試みた。

4. 研究成果

超音波センサによる自己位置制御系(図2)を状態依存むだ時間系の一例として取り上げ、その位置推定精度向上のための検討を行った。この系は、超音波信号を物体に向けて送信し、その反射信号を受信するまでに要する時間をもとに物体との距離を見積もる(図2)。要した時間と信号速度の積の1/2を物体までの距離とするため、移動体が停止していれば現在の位置と過去の位置が等しくなり正確な現在位置が求まるが、移動体が動いていると正確な現在位置が求まらず、その動きによっては現在いる位置とは大きく異なる位置が求まる。しかし、信号の受信までに要する時間は、信号を送信した位置と受信した位置で明確に規定される。ここでは、これを状態依存むだ時間ととらえ、ある種のオブザーバを設計することで上記問題の改善を試みた。ただし、この系に直接的に通常オブザーバを構成するのはやはり困難であったため、これまでの手法と同様に状態依存むだ時間系の状態履歴を有限個の状態変数に記録し、その中からむだ時間過去の状態を生成するような離散時間状態方程式によってもととの系を近似することを考えた。過去状態を生成する非線形ゲインをファジィゲインとみなすことで一種のパラメータ変動システムとして表現し、ある種の切替型のオブザーバを構成した。

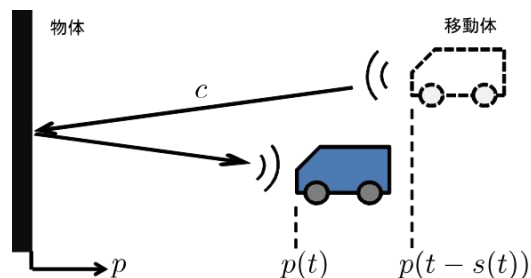
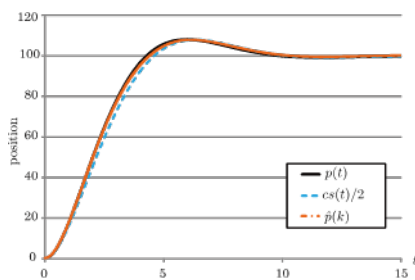
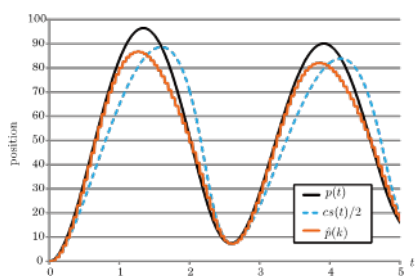


図2：自己位置制御系

提案した手法の有効性をシミュレーションによって検証した。具体的には、適当な制御の下での初期位置から目標位置への過渡特性を評価した。信号の反射を受信するまでに要した時間と信号速度との積の1/2によってその現在位置を見積もる手法は、その性質上、発信位置と受信位置の1/2の位置が算出されるため、動作が振動的となる際には誤差が大きくなったのに対し、本手法では図3に示すように、いずれの場合においてもその現在位置を高精度に推定することができた。



(a) 安定的な応答の場合



(b) 振動的な応答の場合

図3：シミュレーション結果

信号のはねかえりを利用した自己位置制御系は、車の衝突回避システム等で目の当たりにすることができる。今回は状態推定のみを取り扱ったが、その最適な制御等ができれば、より有用な衝突回避ができる可能性がある。モデル近似を工夫することにより、既存の制御理論からアプローチするという手法は国内外問わず非常に希であることもあわせ、今後の展望が望まれる。産業応用の観点からも引き続き考察を行いたい。

その他、以下に示すような研究成果を得た。

#### 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1件)

1. 飯塚育生, 高見昭康, 箕田充志, 仲田知弘, 渡邊修治, 加藤健一, 加藤聡, 武邊勝道, 鈴木純二, ラーニング/ティーチングによる基礎学力向上を図る取組, 日本工学教育協会論文誌, Vol. 59, No. 4, pp. 80-84, 2011. 査読有

〔学会発表〕(計8件)

1. 加藤健一, 齊木章悟, 非円形歯車を用いたチューブ式ポンプの無脈動化, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2014, 2A2-002, 富山市総合体育館(富山県・富山市), 2014/5/27.
2. K. Katoh, A. Kawaguchi, K. Uya and M. Nishikori, Development of Non-Pulsatile Tube Pump, Proceedings of the 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON 2013), pp. 4103-4108, Vienna (Austria), 2013/11/11. 査読有
3. 加藤健一, 川口景之, 宇家和希, 錦織諒, 無脈動化を目的としたチューブポンプの開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2013, 2P1-D12, つくば国際会議場(茨城県・つくば市), 2013/5/24.
4. K. Katoh, A. Kawaguchi, K. Hirata, State Estimation of State-Dependent Delay Systems Based on Discretized Switching Model, IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT 2013), pp. 199-203, Cape Town(South Africa), 2013/2/26 査読有
5. 川口景之, 加藤健一, ある種の状態依存むだ時間系の近似モデル表現とオブザーバによる状態推定, 第14回IEEE広島支部学生シンポジウム, A-6, 岡山県立大学(岡山県・総社市), 2012/11/17-18. 査読有
6. 佐藤錬磨, 加藤健一, Teapot Juggling ロボットの開発と制御, 第14回IEEE広島支部学生シンポジウム, A-2, 岡山県立大学(岡山県・総社市), 2012/11/17-18. 査読有
7. 高見昭康, 飯塚育生, 箕田充志, 仲田知弘, 岡本信之, 鈴木純二, 渡邊修治, 加藤健一, 加藤聡, 武邊勝道, 「ラーニング/ティーチングによる学力向上」の実践報告( ), 平成23年度全国高専教育フォーラム, pp.89-90, 鹿児島大学(鹿児島県・鹿児島市), 2011/8/24.
8. 高見昭康, 岡本信之, 吉田剛, 鈴木純二, 飯塚育生, 箕田充志, 仲田知弘, 渡邊修治, 加藤健一, 加藤聡, 武邊勝道, L/T教育による低学力者の学力向上, 第93回全国算数・数学教育研究(神奈川大会), p.558, 日本大学(神奈川県・横浜市), 2011/8/2.

〔産業財産権〕

出願状況（計1件）

名称：チューブポンプ

発明者：加藤健一

権利者：独立行政法人国立高等専門学校機構

種類：特願

番号：2013-013420

出願年月日：2013年1月28日

国内外の別：国内

〔その他〕

○講演（計1件）

1. K. Katoh, Innovative Tube Pump, Innovation in Technology Workshop, Al-Khobar (Saudi Arabia), 2013.3.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

加藤 健一（KENICHI KATOH）

独立行政法人国立高等専門学校機構

松江工業高等専門学校 電子制御工学科

研究者番号：70553600