

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 1日現在

機関番号：17501

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560450

研究課題名（和文）非モデルベース微分推定器設計とダイナミックセンシングへの応用に関する研究

研究課題名（英文）Research on Design of Non-Model-Based Differential Estimator and Its Application to Dynamic Sensing

研究代表者

松尾 孝美（MATSUO TAKAMI）

大分大学・工学部・教授

研究者番号：90181700

研究成果の概要（和文）：

我々は最近、時変パラメータを推定する適応パラメータ更新則を用いた非モデルベースの適応微分推定器を提案したが、ノイズ抑制と階段関数の微分の際に現れるデルタ関数検出とには、適応ゲインの調整によるトレードオフの関係があった。本研究では、適応オブザーバによる非モデルベースの微分推定器を相対次数2次以上にも適用できるような非正実化手法の改良を行い、その有効性をGPS補正付姿勢方位基準装置のデータを用いて、速度、加速度の推定を行い、実際のセンサデータと比較検証した。

研究成果の概要（英文）：

We have proposed the adaptive velocity, acceleration, and frequency estimators based on the adaptive control theory. Especially, in, we presented two types of adaptive differentiators to estimate the first and second order derivatives of an output signal. In the case of the output signal with unknown dynamic structure, a velocity estimator was proposed based on the gradient-type adaptive update law. Then, a non-passifiable adaptive scheme was proposed using the high-gain input observer in order to design an acceleration estimator. Moreover, we compared the estimation performance of the dynamic nonlinear adaptive gain with the static nonlinear adaptive gain. Finally, we performed the experimental validation of proposed estimators with the Crossbow NAV440 that is a registered trademark of MEMSIC, Inc

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
22年度	2,100,000	630,000	2,730,000
23年度	600,000	180,000	780,000
24年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：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：微分推定，オブザーバ，パラメータ推定，ソフトセンサ，姿勢方位基準装置

1. 研究開始当初の背景

観測信号の時間導関数を発生するダイナミクスの情報を用いずに推定することは、速度、加速度を推定問題など、多くの分野で必要となる。信号の時間導関数を推定する最も

単純な方法は、連続時間系の場合には、近似微分器であり、離散時間系には後退差分である。しかしながら、これらの方法はノイズを増幅する欠点を持っている。例えば、近似微分器 $s/(Ns+1)$ は、高周波におけるゲインを低

下させるためには、 N を大きくする必要があるが、これは時定数を意味するので、速応性を犠牲にする代償を払わなければならない。また、時間関数を時変数の低次多項式とみなし、その導関数を状態変数とした状態空間モデルから、カルマンフィルタやオブザーバによる状態推定機能により、導関数を推定する方法が提案されている。これらの手法は、時間関数に時変数の高次多項式が含まれる場合には、誤差となって現れるため、短時間での推定に向いているが、フィードバック制御に組み込むような長時間の推定には向いていないと考えられる。このような中で、注目されているのが、モデルを用いずに、スライディングモード制御を基にした、Levant による厳密微分器[1]である。厳密微分器は、特定の条件を満たす入力信号の微分値を厳密に求めることができるが、特に3階を越える微分器を構成したときの条件が未解決の問題となっている。厳密微分器はノイズがない場合には、有限時間で真値に収束するという特性をもっている点で注目されているが、我々のシミュレーションによれば、付加的ノイズに弱いことが確認されている。そこで、我々は、適応制御理論を基にした新しい非線形関数の適応微分推定器を提案し、その有効性を数値シミュレーションおよびセンサを使った実験により検証したいと考えた。

2. 研究の目的

出力の微分値を因果的に推定する機構には、信号を発生するダイナミカルモデルにオブザーバ、カルマンフィルタを適用したモデルベースの推定器と数値微分器のような信号のダイナミカルモデルに基づかない非モデルベースの推定器がある。我々は最近、時変パラメータを推定する適応パラメータ更新則を用いた非モデルベースの適応微分推定器を提案したが、ノイズ抑制と階段関数の微分の際に現れるデルタ関数検出とには、適応ゲインの調整によるトレードオフの関係があった。本研究では、理論解析として、ハイゲイン入力推定器をパラメータ調整則に用いた加速度推定器の証明の改良を行い、ついで、提案手法の微分推定性能を、Levant の厳密微分器と数値的に比較し、性能評価を行う。また、実験的検証として、速度、加速度の実証実験として、カルマンフィルタによる補正機能を装備した Crossbow 社製 GPS 補正付姿勢方位基準装置を用いて、振動計測データから本手法による推定値と Crossbow 社製装置との性能比較実験を行う。特に、測定したロール、ピッチ、ヨー角角度、および角速度データを用いて、速度推定器の推定性能を、近似微分器、厳密微分器と比較する。また、角度データから加速度推定器を用いて推定したデータと角速度データから速度推

定器を用いて推定したデータを比較し、加速度推定器の性能を検証する。さらに、数値シミュレーションによる検証として、バイオリジカルニューラルネットワーク全体の背景活動と発火のメカニズムを微分推定器の立場から数値シミュレーションを行う。

3. 研究の方法

理論解析として、適応オブザーバによる非モデルベースの微分推定器を相対次数2次以上にも適用できるような非正実化手法の改良を行い Levant の厳密微分器と数値的に比較し、性能評価を行う。ノイズ抑制と階段関数の微分の際に現れるデルタ関数検出とには、適応ゲインの調整によるトレードオフの関係があるが、ゲインの自動調整機構を提案し、推定性能を向上させる。

実験的検証として、速度、加速度の実証実験として、カルマンフィルタによる補正機能を装備した Crossbow 社製 GPS 補正付姿勢方位基準装置を用いて、振動計測データから本手法による推定値と Crossbow 社製装置との性能比較実験を行う。さらに、得られた加速度推定値を提案しているリアルタイム周波数推定器にかけることにより、実用性の検証を行う。

数値シミュレーションによる検証として、有効性を、バネ質点系、アクティブサスペンション系、電子制御スロットル系へ応用し、数値微分器や厳密微分器よりも、ノイズに強いことを数値シミュレーションにより確認する。また、GPS 補正付姿勢方位基準装置を購入し、実験装置のセットアップを行い、機械系の回転運動の実験データ収集とそのデータを用いて、速度、加速度の推定を行い、実際のセンサデータと比較検証する。さらに、適応微分推定器の構造をニューラルネットワークの機構に取り込むことにより、微弱背景信号から発火に至る過程が微分推定器の結果として出現することを数値シミュレーションにより示す。

4. 研究成果

非モデルベースの微分推定器を相対次数2次以上にも適用できるような非正実化手法を Fomichev のハイゲイン入力推定器を導入することにより提案し、加速度推定器のアルゴリズムを改良し、角度データから加速度推定器を用いて推定したデータと角速度データから速度推定器を用いて推定したデータを比較し、加速度推定器の性能を検証した。その結果、提案した速度・加速度推定器の推定性能は、ノイズ抑制の点で優れていることを実験データから確認できた。また、適応オブザーバの推定誤差の安定性を保証するリアプノフ関数の構成を工夫することにより、適応ゲインを、定数部と推定誤差の2次形式

の和で記述した静的ゲインチューニング則と微分則で与えられる動的ゲインチューニング則を提案した。このオートチューニング機構には、以下の2つの意義がある。1) 手動作業によるパラメータチューニングをなるべく避けて、なるべく汎用性のある推定器を設計できる。2) パラメータチューニングを手作業を行うことにより、通常の数値の適応ゲインよりも、推定性能を向上させることができる。その有効性を検証するために、1) については、スカラー系の2つの定数パラメータ推定問題に適用し、性能を比較し、良好な結果を得た。さらに、2) については、慣性計測機器 NAV440 を用いた実測値を用いて、その推定性能を比較検証し、推定性能の向上も期待できることを示した。また、数値シミュレーションとして、バネ質点系、アクティブサスペンション系、電子制御スロットル系へ応用し、数値微分器や厳密微分器よりも、ノイズに強いことを確認した。さらに、適応微分推定器の構造をニューラルネットワークの機構に取り込むことにより、微弱背景信号から発火に至る過程が微分推定器の結果として出現することを数値シミュレーションにより示した。最後に、当初目的以外に、微分推定器を画像処理に応用し、胃がんの良悪性識別に適用できることを明らかにした。

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9件)

- ① Yusuke Totoki and Takami Matsuo : Decay/Growth Rate Estimation Using Instantaneous Lyapunov Exponent, Int. J. Bifurcation and Chaos, 査読有, 22-3, (2012) 1250047 (13 pages) DOI: 10.1142/S0218127412500472.
- ② 長野宣道, 松尾孝美, 友成健一朗, 伊藤隆志, 白石順二 : 胃腫瘍性病変良悪性識別のためのコンピュータ支援診断システムの開発, 日本放射線技術学会, 68-11, 1474-1485 (2012).
- ③ Osamu Hoshino: Regulation of Ambient GABA Levels by Neuron-Glia Signaling for Reliable Perception of Multisensory Events, Neural Computation, 査読有, 24-11, 2964-2993 (2012).
- ④ Nobumichi Nagano and Takami Matsuo: Edge Detection and Feature Extraction of Gastrointestinal Radiographs Using Adaptive Differential Filter and Level Set Method, Int. J. of Advanced Mechatronic Systems, 査読有, 3-4, pp.279-287 (2011).
- ⑤ Tasuya Nomura, Takahiko Irie, Haruo Suemitsu, and Takami Matsuo : Stochastic Security Testing for Chaotic Communication Systems against Error Function Attack, IEEJ Trans. on Electrical and Electronic Engineering, 査読有, 6-5, 450-456 (2011).
- ⑥ Osamu Hoshino: Neuronal Responses Below Firing Threshold for Subthreshold Cross-Modal Enhancement, Neural Computation, 査読有, 23-4, 958-983 (2011).
- ⑦ Osamu Hoshino: Subthreshold Membrane Depolarization as Memory Trace for Perceptual Learning, Neural Computation, 査読有, 23-12, 3205-3231 (2011).
- ⑧ Tatsuya Nomura, Yuta Kitsuka and Takami Matsuo : Nonmodel-Based Estimation for Velocity and Acceleration by Adaptive Identification Method, IEEJ Trans. on Electrical and Electronic Engineering, 査読有, 5-3, 372-374 (2010).
- ⑨ Yusuke Totoki, Takami Matsuo, Meihong Zheng, and Osamu Hoshino : Local intracortical circuitry not only for feature binding but also for rapid neuronal responses, Cognitive Processing, 査読有, 11, 347-357 (2010).

[学会発表] (計15件)

- ① 江口泰史, 川上裕大, 末光治雄, 松尾孝美 : オートチューニング微分推定器の性能評価, 第13回制御部門大会, 2013年3月8日, 福岡.
- ② 川上裕大, 江口泰史, 末光治雄, 松尾孝美 : 慣性計測機器を用いたモデルフリー加速度推定器の性能検証, 第13回システムインテグレーション部門講演会, 1536-1541, 2012年12月19日, 福岡.
- ③ 江口泰史, 川上裕大, 末光治雄, 松尾孝

- 美：適応ゲインのオートチューニングと微分推定器への応用, 第 31 回計測自動制御学会九州支部学術講演会, 5-6, 2012 年 12 月 8 日, 熊本.
- ④ 江口泰史, 川上裕大, 末光治雄, 松尾孝美 : 反復学習オブザーバを用いた速度・加速度推定器設計と性能検証, 第 55 回自動制御連合講演会, 1160-1165, 2012 年 11 月 18 日, 京都.
- ⑤ Yasuhiro Kawakami, Tsuyoshi Nimiya, Haruo Suemitsu and Takami Matsuo : Performance Comparison of Velocity Estimators with MEMS-Based Inertial Sensors, Proc. of 2012 International Conference on Advanced Mechatronic Systems, pp. 195-200, 2012 年 9 月 19 日, 東京.
- ⑥ Kotaro Mihara, Junichi Yokoyama, Haruo Suemitsu, and Takami Matsuo : Swing-Up and Stabilizing Control of an Inverted Pendulum by Two Step Control Method, Proc. of 2012 International Conference on Advanced Mechatronic Systems, pp. 323-328, 2012 年 9 月 19 日, 東京.
- ⑦ Tsuyoshi Nimiya, Haruo Suemitsu, Takami Matsuo, Sawut Umerujan, and Kazushi Nakano : Velocity and Acceleration Estimation of an Electric Throttle System by Adaptive Differential Filter, Proc. of IEEE/SICE-SII2011, 409-414, 2011 年 12 月 21 日, 京都.
- ⑧ Teppei Hiroshige, Haruo Suemitsu, and Takami Matsuo : Stochastic Evaluation of Dissipative Observer for Multivalued Nonlinear System with Coulomb Friction, Proc. of IEEE/SICE-SII2011, 392-397, 2011 年 12 月 21 日, 京都.
- ⑨ Tsuyoshi Nimiya, Masayasu Sakamoto, Yasuhiro Kawakami, Haruo Suemitsu, and Takami Matsuo: Experimental Validation of Adaptive Velocity and Acceleration Estimators with MEMS-Based Inertial Sensors, pp. 223-228, Proceedings of the 43rd ISCIE International Symposium on Stochastic Systems Theory and Its Applications, Shiga, Oct. 28-29, (2011), 2011 年 10 月 29 日, 滋賀.
- ⑩ 荷宮 剛, 木束裕太, 松尾孝美, ウメルジャ
ン サウット, 中野和司 : 適応微分フィルタを用いた電子制御スロットルの状態推定, 第 53 回自動制御連合講演会, 563-568, 2010 年 11 月 4 日, 高知.
- ⑪ Yuta Kitsuka, Tsuyoshi Nimiya, Haruo Suemitsu, and Takami Matsuo : Non-Model-Based Velocity and Acceleration Estimators for a Suspension System with Parallel Connection of a Hydraulic Actuator, proc. of 2010 IEEE Multi-Conference on Systems and Control, pp. 549-554, 2010 年 9 月 9 日, 横浜.
- ⑫ Ryuta Ito, Yusuke Totoki, Haruo Suemitsu, and Takami Matsuo: Adaptive Estimation of Firing Patterns of Hindmarsh-Rose Neurons and Synchronization Detection with Instantaneous Lyapunov Exponents, proc. of SICE Annual Conference 2010, 1743-1748, 2010 年 8 月 19 日, 台北, 台湾.
- ⑬ Yuta Kitsuka, Tsuyosi Nimiya, Haruo Suemitsu, and Takami Matsuo: Feedback Control of a Suspension System with Non-Model-Based Velocity and Acceleration Estimators, proc. of SICE Annual Conference 2010, 484-489 2010 年 8 月 19 日, 台北, 台湾.
- ⑭ Yuta Kitsuka, Tatsuya Nomura, Haruo Suemitsu, and Takami Matsuo: Adaptive Estimation of Velocity and Acceleration with High Gain Input Observer, proc. of Int Conf. on Modelling, Identification and Control, pp. 436-441, 2010 年 7 月 18 日, 東京.
- ⑮ 木束裕太, 野村達八, 末光治雄, 松尾孝美 : 適応同定手法による非モデルベース微分推定器設計とアクティブサスペンション系への応用, 第 54 回システム制御情報学会研究発表講演会, F24-4, 2010 年 5 月 20 日, 京都.

[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://matlab0.hwe.oita-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松尾 孝美 (MATSUO TAKAMI)

大分大学・工学部・教授

研究者番号: 90181700

(2) 研究分担者

星野 修 (HOSHINO OSAMU)

茨城大学・工学部・教授

研究者番号: 00303016

末光 治雄 (SUEMITSU HARUO)

大分大学・工学部・助教

研究者番号: 50162839

(3) 連携研究者

該当なし