

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 30 日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010 年度 ～ 2012 年度

課題番号：22656095

研究課題名（和文） 制御理論による数値解析学の研究

研究課題名（英文） Study of numerical analysis via control theory

研究代表者 山本 裕

(YAMAMOTO YUTAKA)

京都大学・情報学研究科・教授

研究者番号：70115963

研究成果の概要（和文）：本研究はサンプル値制御理論を用いたフィルタを用いて微分方程式の新しい差分解法の得失を明らかにすることを主たる目的とした。サンプル値制御理論は、連続時間信号をデジタルで処理する点、微分方程式の差分解法と共通の問題であり、現実に音響、画像信号処理等において有効な成果を上げていることから、この主題においても成果の上昇が期待された。通常の基本的な線型集中定数系については相応の成果を得たが、ステップな系については必ずしも所期の結果を得ていない。一つにはこのサンプル値理論によるフィルタが、系の定常特性を評価規範として設計されている結果、過渡応答については必ずしも優位性を発揮するとは限らないことが明らかとなった。したがって今後は時不変でない特性フィルタの開発を進める他ないと考えられる。その他入力信号に位相遅れ歪が存在した場合、それをデジタル処理によって取り除くことが可能であることが見出された。これは音響、音声復元においてことに有効であり、今後の逆問題への展開が期待される。

研究成果の概要（英文）： This research intended to develop a new solution scheme via filters obtained by modern sampled-data control theory. Since sampled-data control theory processes continuous-time signals via discrete-time models, this approach is expected to develop a new horizon, also in view of the highly successful outcomes in sound and image processing. Nonetheless, while ensured to be effective for linear-time invariant systems, the new scheme was found not to be effective for nonlinear or stiff systems. This is presumed to be due to the time-invariant nature of the system characteristic on which the designed filters are based, and hence those filters are not so effective for computing transients. This leads to the conjecture that one should proceed to a development of time-varying filters. As a byproduct, however, it has been found that such time-invariant filters can be effective in reducing phase distortions by digital processing. Such a characteristic is useful in sound and image processing, and expected to become more effective in the future.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
22 年度	1,300,000	0	1,300,000
23 年度	900,000	270,000	1,170,000
24 年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	540,000	3,640,000

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： 数値解析, サンプル値制御理論, デジタルフィルタ, 微分方程式の数値解法

1. 研究開始当初の背景

数値解析学は応用数学の重要な分野であり、中でも微分方程式の数値解法は重要な位置を占める。これには無論様々な解法が知られており、またその中心的課題は安定性や誤差の解析である。共通するのは無論与えられた微分方程式と初期条件や境界条件の下で、離散点上でのデータを計算し、それが微分方程式の解の何らかの意味での近似になっていることを保証することにある。これまでは微分方程式の右辺をテイラー展開するなどして、局所データを用いることにより、解を得る方法が主流であった。

2. 研究の目的

これに対し、研究代表者は近年研究を進めているサンプル値制御理論によるデジタルフィルタを用いることにより、問題とする区間全体でのグローバルな評価に基づく解法が得られる可能性に着目し、デジタルフィルタ理論に基づく微分方程式の数値解法を得ることを目的とするに至った。またこれらの成果を拡張することにより、信号処理問題へのフィードバックを得ることも期待された。

3. 研究の方法

本研究では以上の方針の下に、微分方程式のモデルを連続時間集中定数システムとし、これに基づいてアナログサンプル点間特性を最適とするデジタルフィルタを設計する。このデジタルフィルタを差分スキームとして、離散時間応答を得るのが本研究の骨子である。ここでの特徴は、 H^∞ 評価関数の下で最適なデジタルフィルタを設計することによって、アナログ特性したがってサンプル点間の応答がすべての2乗可積分関数に対して最適となることにある。これを非線型の微分方程式に拡張するには、サンプル点ごとに微分方程式の右辺を線形近似し、それを特性関数として得られるデジタルフィルタをつなぎ合わせることによって、非線型の解を得るものである。

4. 研究成果

本研究では概ね以下の結果を得た。

- a. 予想に反し、上記サンプル値理論フィルタが過渡特性に対して従来法を上回らないこと、
- b. ことにこの傾向は、非線型系やステップな系において顕著であること、
- c. その原因はおそらく H^∞ 評価規範が定常特性を重視するため、微分方程式のような立ち上がり特性を重視する問題

については、必ずしも適切とはかぎらないこと、

などが明らかにされた。時不変系ではそれなりの計算結果を得るものの、時変系ではその特徴が活かされない結果ともなった。これらの結果を考慮するに、デジタルフィルタの設計を時変システムに対応するように拡張する必要があることが明らかとなった。この後者の問題に対しては、ウェーブレット展開などに対応し得る、コンパクト台を持つ信号生成関数に対するフィルタ設計理論を構築中である。ただし、この結果は未だ十分に展開できてはおらず、今後の展開に待つしか無い。

これと関連するが、このようなフィルタの発展形として、画像処理における超解像技術、さらにはインターレース解除のための新しい手法を得た。これらについては、従来法を上回る成果を得ており、特許申請を行なっている。

また最後に、信号の生成機構として、ベクトル値を取るウェーブレット生成に類似したデジタルフィルタの設計法を得た。これは今後ウェーブレット展開等について、有効な手法を提供するものと期待される。

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 11 件)

- ① M. Nagahara and Y. Yamamoto, Frequency Domain Min-Max Optimization of Noise-Shaping Delta-Sigma Modulators, IEEE Transactions on Signal Processing, 査読有, 60 巻, 2012, 2828-2839
- ② Y. Yamamoto, M. Nagahara and P. P. Khargonekar “A brief overview of signal reconstruction via sampled-data H^∞ Optimization”, Applied and Computational Mathematics, 査読有, Vol. 11, 2012, 3-18
- ③ M. Wakaiki, Y. Yamamoto and H. Ozbay, “Sensitivity reduction by strongly stabilizing controllers for MIMO distributed parameter systems”, IEEE Transactions on Automatic Control, 査読有, Vol. 57, 2012, 2089-2094.
- ④ 安福, 藤井, 山本 “粒子フィルターを用いたパラメータ推定による回転機械の劣化診断”, システム制御情報学会論文

- 誌, 査読有, Vol, 25, 2012, 221-229.
- ⑤ 宮崎, 工藤, 永原, 林, 山本
“エネルギーマネジメントシステムにおける電力需給バランス制御”, パナソニック技報, 査読有, 57巻, 2012, 17-22.
- ⑥ Y. Yamamoto, M. Nagahara and P. P. Khargonekar, "A Brief Overview of Signal Reconstruction via Sampled-Data H-infinity Optimization", *Applied and Computational Mathematics* 査読有, Vol.11, 2012, 3-18
- ⑦ Y. Yamamoto, M. Nagahara, and P. P. Khargonekar, "Signal Reconstruction via H-infinity Sampled-Data Control Theory --Beyond the Shannon Paradigm", *IEEE Transactions on Signal Processing*, 査読有, Vol.60, 2012, 613-625,
- ⑧ M. Nagahara, M. Ogura, and Y. Yamamoto, "H-infinity design of periodically nonuniform interpolation and decimation for non-band-limited signals", *SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration* 査読有, Vol.4, 2011, 341-348
- ⑨ 安福大輔, 藤井 彰, 山本裕, スラスト荷重下における転がり軸受振動の定式化と低速回転域での劣化診断への適用, 日本機械学会論文集, 査読有, 77巻, 2011, 2627-2641
- ⑩ M. Nagahara and Y. Yamamoto, "H ∞ optimal approximation for causal spline interpolation, *Signal Processing*, 査読有, Vol.90, 2011, 176-184
- ⑪ 安福大輔, 藤井 彰, 山本裕, ラジアル荷重下における転がり軸受振動の定式化と低速回転域での劣化診断への適用, 日本機械学会論文集, 査読有, 76巻, 2010, 2947-2954
- [学会発表] (計 12 件)
- ① M. Nagahara and Y. Yamamoto" H-infinity optimal fractional delay filters with application to pitch shifting," 2012 IFAC Workshop on Time Delay Systems, 2012, Boston (U.S.A)
- ② M. Wakaiki, Y. Yamamoto, and H. Ozbay, "Robust stabilization for distributed parameter systems by stable controllers", *Proceedings of the 20th International Symposium on Mathematical Theory of Networks and Systems*, 2012, Melbourne (Australia)
- ③ M. Wakaiki, Y. Yamamoto, and H. Ozbay, "Tangential Nevanlinna-Pick interpolation for strong stabilization of MIMO distributed parameter systems, 51st IEEE Conference on Decision and Control, 2012, Hawaii (U.S.A)
- ④ M. Nagahara, Y. Yamamoto, S. Miyazaki, T. Kudoh, and N. Hayashi, "H-infinity control of microgrids involving gas turbine engines and batteries, 51th IEEE Conference on Decision and Control, 2012, Hawaii (U.S.A)
- ⑤ M. Nagahara, K. Hanibuchi, and Y. Yamamoto, "Duration-invariant pitch-shifting for stringed instruments," *Proc. 3rd International Conference on Control and Optimization with Industrial Applications (COIA)*, 2011, Ankara (Turkey)
- ⑥ Y. Yamamoto and M. Vidyasagar, "Compact Sets in the Graph Topology and Applications to Approximation of System Design," *Proc. 50th IEEE CDC*, 2011, Orland (U.S.A)
- ⑦ Y. Yamamoto, "Bezout Identity over a Ring of Distributions - Multivariable Case," *Proc. IFAC 18th World Congress*, 2011, Milan (Italy)
- ⑧ M. Nagahara, K. Hanibuchi, and Y. Yamamoto, "Pitch Shifting by H-Infinity Optimal Variable Fractional Delay Filters," *Proc. IFAC 18th World Congress*, 2011, Milan (Italy)
- ⑨ M. Ogura, Y. Yamamoto, and J. C. Willems, "On the dissipativity of pseudorational behaviors," *Proc. 49th IEEE Conference on Decision and Control*, 2010, Atlanta (U.S.A)
- ⑩ M. Nagahara, C. F. Martin, and Y. Yamamoto, "Quadratic programming for monotone control theoretic splines," *Proc. SICE Annual Conference 2010*, 2010, Taipei (Taiwan)
- ⑪ Y. Yamamoto, J. C. Willems and M. Ogura, "Pseudorational behaviors and Bezoutians," *Proc. MTNS 2010*, 2010, Budapest (Hungary)

- ⑫ M. Ogura and Y. Yamamoto,
“Dissipativity of pseudorotational
behaviors,” *Proc. MTNS 2010*, 2010,
Budapest (Hungary)

[図書] (計 1 件)

- ① Y. Yamamoto, *From Vector Spaces to
Function Spaces – Introduction to
Functional Analysis*, SIAM Press,
Philadelphia, 2012.

[産業財産権]

○出願状況 (計 2 件)

名称：超解像処理方法及び装置
発明者：山本 裕， 銭谷謙吾
権利者：山本 裕
種類：特許出願
番号：特願 2011-141632
出願年月日：2011 年 6 月 27 日
国内外の別：国内

名称：画像データ処理方法及び画像データ
処理装置
発明者：山本 裕， 銭谷謙吾
権利者：山本 裕
種類：特許出願
番号：特願 2013-065502
出願年月日：2013 年 3 月 27 日
国内外の別：国内

○取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：
〔その他〕
ホームページ等

<http://www-ics.acs.i.kyoto-u.ac.jp/~yy/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者 山本 裕
(YAMAMOTO YUTAKA)
京都大学・情報学研究科・教授
研究者番号：70115963

(2) 研究分担者
()

研究者番号：

(3) 連携研究者 永原正章
(NAGAHARA MASAOKI)
京都大学・情報学研究科・講師
研究者番号：90362582