

平成 26 年 6 月 4 日現在

機関番号：33401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560543

研究課題名(和文) バイオミメティクスに学ぶ非線形フィルタリングの新しい展開

研究課題名(英文) Biomimetic Approach to the Development of Nonlinear Filters

研究代表者

魚崎 勝司 (UOSAKI, Katsuji)

福井工業大学・工学部・客員教授(特任)

研究者番号：20029151

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円、(間接経費) 1,170,000円

研究成果の概要(和文)：生物のもつ優れた性質や機能を人工的に取り入れ、生物を超える機能を有するシステムを実現するバイオミメティクスの考えに基づく進化計算や群知能などと、多数のサンプルに基づいて状態値の事後確率密度関数を求め、状態推定を行うパーティクルフィルタなどの非線形フィルタの考え方を融合して、進化戦略型 Unscented フィルタなどの新しい非線形フィルタを構築するとともに、パーティクルスウォーム最適化の多目的最適化への応用において生じる問題点の解決手法を提案し、また呼吸における静的P-V曲線の推定など非線形システム同定へアントコロニー最適化などのバイオミメティクスの考え方を応用し、有益な結果を得た。

研究成果の概要(英文)：Integrating the biomimetic approaches such as evolutionary computation techniques (genetic algorithm (GA), evolutionary strategies (EC), etc.) and swarm intelligence (particle swarm optimization (PSO), ant colony optimization (ACO), bacteria foraging optimization (BFO) algorithms, etc.) with the computer-intensive nonlinear filtering methods such as Monte Carlo filters and particle filters, new particle filters including the ES based unscented particle filter (ESUP) and stochastic approximation type nonlinear filter with an adaptive gain were developed.

An efficient guide selection method in the multi-objective PSO was proposed to obtain the Pareto optimal front, and it may be applicable to nonlinear filter design under the multi-criteria. Moreover, nonlinear identification methodology was developed for the static P-V curve estimation using Fuzzy logic and ACO.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：制御工学

キーワード：非線形フィルタ バイオミメティクス 進化計算 パーティクルスウォーム最適化 確率近似法

### 1. 研究開始当初の背景

時間的に変化するシステムの状態を雑音の混入したその観測値をもとに推定するフィルタリング問題はシステム・制御における基本的問題であり、とくに実システムにおいては非線形性が存在し、また非正規雑音が混入していることが多いことから非線形フィルタの開発が要請され、多くの研究がなされてきた。その一つとして、多数のサンプル抽出に基づく Monte Carlo 法によって、フィルタ構成における積分計算を行うパーティクルフィルタ(粒子フィルタ; PF) の考え方があり、また Kalman フィルタのような予測誤差修正型の非線形フィルタを構築し、その収束性を確率近似法の立場から解析する確率近似型フィルタがある。一方で、近年のコンピュータ性能の飛躍的向上により、多数の生物個体等のシミュレーションが可能となったことから、生物のもつ優れた性質、機能を人工的に取り入れ、生物類似あるいはそれを超える機能をもつシステムを実現するバイオミメティックスの考えがもたらされ、遺伝的アルゴリズム、進化戦略などの進化計算 (Evolutionary Computation; EC)、パーティクルスウォーム最適化 (Particle Swarm Optimization; PSO)、アントコロニー最適化 (Ant Colony Optimization; ACO) などに代表される群知能などの結合型アルゴリズムの考え方が急速に展開されてきた。PF、EC および群知能はそれぞれ多数の個体を考え、それらを相互に関連させながら並列的に評価、改良を行ったうえで総合するという、超大規模計算に基づく問題解決の手法であるともいえるが、それぞれは独立に研究が展開されていたため、これらを有機的に結合することにより、新しい非線形フィルタが開発できるとの確信をもち、本研究に取り組むこととなった。

### 2. 研究の目的

生物進化や生物の群行動など、生物が有する優れた性質や機能を人工的に広く織り込んで、生物に類似、あるいは生物以上の機能を有するシステムを実現することを目指すバイオミメティックスの考えを積極的に取り入れ、これに基づく EC や PSO などと、多数のサンプルを抽出して状態値の事後確率密度関数を求めて状態推定を行う PF や Monte Carlo フィルタなどの非線形フィルタの考え方を融合して、非線形システムの状態推定のための新しい非線形フィルタを構築するとともに、バイオミメティックなアプローチの多目的最適化、非線形システム同定への応用を検討する。

### 3. 研究の方法

(1) これまでに提案されてきているさまざま

な非線形フィルタの基本的な性質を比較、整理する。

- (2) 多数の個体、あるいは粒子点に対する評価をもとに個体を改良していくという共通の性質を有するバイオミメティックスにおける EC、PSO などと、非線形フィルタにおける PF を融合した新しい非線形フィルタの開発ならびに確率近似型非線形フィルタの改良を行う。
- (3) PSO の多目的最適化への応用においては Pareto最適面を見出さなければならない。その際に生じる問題点の解決策について検討を行う。またバイオミメティックなアプローチに基づく新しい最適化手法の開発を検討する。
- (4) 非線形フィルタと密接に関連する、非線形システム同定については、ファジー推論に遺伝的アルゴリズムあるいはアントコロニー最適化手法を組み合わせ呼吸器系の非線形モデリングを効率的に行う。

### 4. 研究成果

- (1) ad hoc に提案されてきたさまざまな非線形フィルタについてその基本的な性質を近似の概念から整理し、その特質を比較して、その一部を平成23年度電気関係学会北陸支部連合大会の招待講演として発表した。またバイオミメティックスにおける EC、PSO と、非線形フィルタにおける PF の両者について、多数の個体あるいは粒子点を用いての評価改善の特質をまとめた。
- (2) 理論的に収束性は保証されているものの、適応性に欠け、収束性能が劣っているとされている確率近似型非線形フィルタについて、適切なゲイン定数の設定に PSO を適用し、性能が改良されることを確認した。この手法は、適応性の点で効果があることから、非定常システムの時変システムパラメータ推定における忘却因子の設計にも応用が期待できる。一方、すでに提案して有効性を確認しているまた、進化戦略 (Evolutionary Strategies; ES) を PF などに応用した進化戦略型 PF、進化戦略型 Gauss 和フィルタの延長線上として、進化戦略型 Unscented PF (ESUPF) を構築したが、Unscented Kalman フィルタよりは推定性能は良いものの、van der Merwe, Doucet, de Freitas, Wan によって提案された Unscented PF に比しては、推定性能はあまり大きく向上しなかったため、さらなる改良に努めている。

(3) バイオミメティックな最適化手法の一つである PSO を多目的最適化に応用するとき、単一目的最適化とは異なり最良解が単純には定義できないため、真の Pareto 最適境界面を広く一様に近似することが困難となる難点があった。これに対し、PSO のアルゴリズム中の粒子のガイド選択を、適切なパラメータを用いた単一目的関数のもとで行うことにより、Pareto 最適境界面の被覆率を図1のように高めることができることを明らかにした。この結果は IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC) などで発表した。この改良は、収束速度のみならず、安定性も要求するという複数の目的をもたせた非線形フィルタ設計への PSO の応用に活かすことができると考えられる。

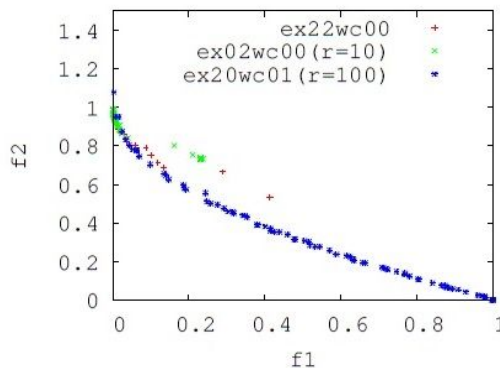


図1 Pareto 最適境界面(青：提案手法)

さらに新しいバイオミメティックな最適化アプローチとして、個々の魚が外界のポテンシャル関数の減少する方向に移動するものとし、その行動には確率的な不確実性が存在するという確率モデルのもとに、魚群の群行動を模擬化することによってポテンシャル関数の極小化に応用する手法を開発し、数値シミュレーションによりその有効性を確認し、International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA) などで発表した。

(4) 非線形フィルタと密接に関連する非線形システム同定への応用については、人工呼吸器の気圧上限設定に必要なとされる静的 P-V 曲線をファジー推定する問題を取り上げた。ここでファジー変数を遺伝的アルゴリズム、アントコロニー最適化などのバイオミメティックな手法を適用して求めることによって、図2のおおむね検証データに近い、静的 P-V 曲線を得ることができ、UK ACC Control, Chinese Control Conference (CCC) など

で発表した。今後は急激な肺特性の変化にも対応できるように、アルゴリズムを改善していくことが必要である。

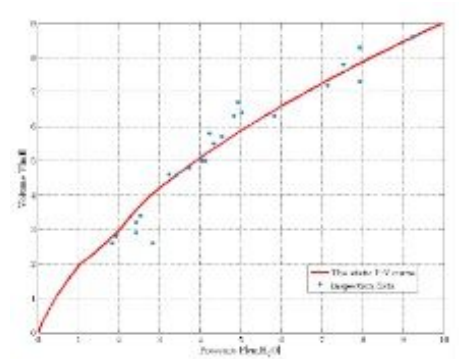


図2 静的 P-V 曲線の推定値

## 5. 主な発表論文等

### 〔雑誌論文〕(計 7 件)

中道正紀, 金江春植, ファジィスロ ジックを用いた肺エラストランスの推定におけるアントコロニー最適化法について、福井工業大学研究紀要、査読有、43 巻、pp.29-36、2013

大熊一正, 杉原一臣, 魚崎勝司、コンピュータサイエンス・アンプラグドの手法を導入として用いた圧縮技術に関する教育とその展開へ向けて II、福井工業大学研究紀要、査読有、43 巻、pp. 438-445、2013

内種岳詞, 畠中利治、単一の目的関数に基づくガイド選択による多目的 PSO、進化計算学会論文誌、査読有、3 巻、pp.155-162、2012

大熊一正, 杉原一臣, 魚崎勝司、コンピュータサイエンス・アンプラグドの手法を導入として用いた圧縮技術に関する教育とその展開へ向けて、福井工業大学研究紀要、査読有、42 巻、pp. 620-630、2012

中道正紀, 金江春植、ファジィス推論の後件部関数表現形式による静的 P-V 曲線の推定への影響について、福井工業大学研究紀要、査読有、42 巻、pp. 78-83、2012

Zi-Jiang Yang, Yan Wang, and Shunshoku Kanae, New approach to adaptive robust motion controller combined with disturbance observer, IET Control Theory & Applications、査読有、5 巻、pp.1203-1213、2011

### 〔学会発表〕(計 44 件)

Masanori Nakamichi, Shunshoku Kanae and Katsuji Uosaki, Estimation of the pulmonary elastance and setting of the

ventilation condition using fuzzy logic, 45th ISCTE International Symposium on Stochastic Systems Theory and Its Applications (SSS 2013), 2013.11.1-2, Okinawa, Japan  
山本将司, 畠中利治, 内種岳詞, ローカルベストモデルを用いた多目的 PSO におけるガイド選択とアーカイブ更新に関する検討, 第5回進化計算学会研究会, 2013.9.12, 室蘭  
Takeshi Uchitane, Taro Fukutomi, Toshiharu Hatanaka and Atsushi Yagi, A study on stochastic animal swarm optimization with gradient estimation methods, 2013 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA 2013), 2013.9.10, Santa Fe, USA  
Masahiro Osogami, Teruya Yamanishi and Katsuji Uosaki, A method for reachability problems of P/T Petri nets using algebraic approach, 2013 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA 2013), 2013.9.10, Santa Fe, USA  
内種岳詞, 畠中利治, 確率的魚群モデルを用いた関数最適化におけるグラディエント推定, 第3回計測自動制御学会コンピュータショナルインテリジェンス研究会, 2013.8.30, 大阪  
Shunshoku Kanae, Masanori Nakamichi, An ant colony optimization method for fuzzy membership functions and its application to estimate the pulmonary elastance, 32th Chinese Control Conference (CCC 2013), 2013.7.26-28, Xi'an, China  
内種岳詞, 福富太郎, 畠中利治, 群形成の力学モデルに基づく関数最適化に関する検討, 日本知能情報ファジィ学会2012年度 ECComp 研究部会研究会, 2013.3.9, 福岡  
中道正紀, 金江春植, アントコロニー最適化手法を用いたエラスタンスのファジィ推定におけるファジィ変数の決定について, 第55回自動制御連合講演会, 2012.11.17-18, 京都  
Takeshi Uchitane, Masashi Yamamoto and Toshiharu Hatanaka, Multi-objective particle swarm optimization with regular graph structure, 44th ISCTE International Symposium on Stochastic Systems Theory and Its Applications (SSS 2012), 2012.11.1-2, Tokyo, Japan  
Masanori Nakamichi, Shunshoku Kanae, Zi-Jiang Yang and Kiyoshi Wada,

Estimation of pulmonary elastance fuzzy model by data combination of two respiration phases, 2012 UKACC International Conference on Control (UKACC Control 2012), 2012.9.3-5, Cardiff, UK  
安田大悟, 畠中利治, 内種岳詞, 粒子群最適化の高次元関数最適化への適用に関する考察, 第2回計測自動制御学会コンピュータショナル・インテリジェンス研究会, 2012.9.28, 岡山  
Masashi Yamamoto, Takeshi Uchitane and Toshiharu Hatanaka, An experimental study for multi-objective optimization by particle swarm with graph based archive, 2012 SICE Annual Conference, 2012.8.20-23, Akita, Japan  
Zhen-Qiang Li, Wen-Guang Luo, Hong-Tao and Shunshoku Kanae, Parameter estimation of Hammerstein model based on wavelet packet, 31st Chinese Control Conference (CCC'2012), 2012.7.25-27, Hefei, China  
Takeshi Uchitane and Toshiharu Hatanaka, Experimental study for multi-objective PSO with single objective guide selection, 2012 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC 2012), 2012.6.10-15, Brisbane, Australia  
内種岳詞, 畠中利治, 安田大悟, 多目的 PSO におけるガイド粒子の選択に関する一考察, 計測自動制御学会システム情報部門学術講演会 2012, 2011.11.22, 東京  
中村隆之, 金江春植, GA による呼吸モデルの構造決定について, 第54回自動制御連合講演会, 2011.11.19-20, 豊橋  
魚崎勝司, 非線形フィルタリングの新しい展開, 平成23年度電気関係学会北陸支部連合大会, 2011.9.17, 福井  
Masahiro Osogami, Teruya Yamanishi and Katsuji Uosaki, Input-output conditions for automatic program generation using Petri nets, 15th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems (KES 2011) 2011.9.12, Kaiserslautern, Germany  
Masanori Nakamichi, Shunshoku Kanae, Estimation of pulmonary elastance by functional type SIRMs fuzzy reasoning method, 30th Chinese Control Conference (CCC 2011), 2011.7.22-24, Yantai, China

## 6 . 研究組織

### (1)研究代表者

魚崎 勝司 (UOSAKI, Katsuji)  
福井工業大学 工学部 客員教授(特任)  
研究者番号： 20029151

### (2)研究分担者

畠中 利治 (HATANAKA, Toshiharu)  
大阪大学 情報科学研究科 助教  
研究者番号： 10252884

金江 春植 (KANAE, Shunshoku)  
福井工業大学 工学部 教授  
研究者番号： 90274555

恐神 正博 (OSOGAMI, Masahiro)  
福井工業大学 工学部 准教授  
研究者番号： 70298389