

平成 22 年 5 月 24 日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2009

課題番号：19510163

研究課題名（和文）

計算知能を用いた多目的モデル予測制御とそのプラント運用問題への応用

研究課題名（英文）

Multiobjective Model Predictive Control Using Computational Intelligence and its Applications to Plant Operation Problems

研究代表者

中山 弘隆 (Nakayama Hirotaka)

甲南大学・知能情報学部・教授

研究者番号：20068141

研究成果の概要（和文）：

計算知能の手法を用いて、少ない実験（あるいは解析）回数で精度の高い近似関数を求め、さらに進化的最適化手法によって効率よく近似最適解を求めるという逐次近似最適化法をプラント運転のような動的な問題に拡張し、さらに複数の目的をもつ意思決定問題に対しても意思決定者の価値判断に対し柔軟に解を求められるように工夫を施した。これにより、環境の変化にも迅速に意思決定を行える意思決定支援システムとして構築することができた。

研究成果の概要（英文）：

Sequential approximate optimization using computational intelligence has been extended to dynamic problems such as plant operation problems. In addition, several devices from a viewpoint of multiobjective optimization were added in order to make decisions adaptively according to the value judgment of decision makers. Finally, a decision support system which enables to make decisions rapidly under the change of environment has been constructed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学、社会システム工学・安全システム

キーワード：モデル予測制御、多目的最適化、計算知能、サポートベクターマシン、サポートベクター回帰

1. 研究開始当初の背景

実際の工学設計の問題では目的関数が設計変数の陽な関数として表すことができず、設

計変数の値を決めたとき、構造解析、熱解析、流体解析、振動解析等の解析シミュレーションや実験によって初めて目的関数の値が求ま

ることが多い。通常、解析シミュレーションや実験によって未知目的関数の値を求めるには多大のコスト及び時間を要するが、本研究研究代表者はこれまでにRBF(Radial Basis Function) ネットワークやSVM(Support Vector Machine)等の計算知能の手法を用いて、少ない実験(あるいは解析)回数で精度の高い近似関数を求め、さらに進化的最適化手法によって効率よく近似最適解を求めるといった逐次近似最適化法を提案し、いくつかの実問題にも応用しその効果を検証している。

火力発電プラントの起動スケジュールは、起動時間、燃料消費量、機器の寿命消費量、環境規制物質の排出量など、複数の評価指標を勘案しながら決定する必要がある。需要や電気価格等の外的要因により、オペレータがコンピュータとの対話を通じて、複数の評価基準に基づいて起動スケジュールを最適化できるプラント運転支援システムが求められている。火力発電プラントの起動特性は動特性シミュレーションにより予測できる。しかし、1回のシミュレーションに数十分オーダーの計算時間を要するため、そのまま多目的最適化を行うと膨大な計算時間を費やしてしまう。一方、オペレータは電力需要の要求に応じて、短時間内にプラント運用計画の意思決定を行う必要がある。このように、火力発電プラントをはじめとする多くのプラント運用問題では本研究で提案する逐次近似最適化の手法が有効となる。

2. 研究の目的

本研究では逐次近似最適化法をさらに動的な多目的最適化に発展させるとともに、さらに本研究代表者が近年開発した新しい μ - ν -SVMにもとづく関数近似によって近似の効率・精度を向上させ、プラント運用問題に適用するものである。

3. 研究の方法

本研究は上記の特徴をもつ逐次近似最適化手法を実際のプラント運転に適用可能にし、電力需要の要求に応じて短時間内にプラント運用計画の意思決定をするシステムを構築しようとするものであり、次の3つのフェーズに沿って詳述する。

フェーズ (1)

静的な問題に対する逐次近似最適化に対しては、本研究代表者はRBFネットワークやSVM(あるいはSVR)を用いて少ないシミュレーションや実験回数で実用的な解を得る方法を提

案している。本研究の対象は動的な問題であり、シミュレーションモデルの誤差や外乱の影響が時間の経過とともに無視出来ない程度に現れるために、これらの影響を吸収して補正しながら実際の状態に合わせて最適運用計画を動的に決めなければならない。ここに本研究では、これまでの静的な逐次近似最適化手法を動的なモデル予測制御に拡張する。

フェーズ (2)

これまでに開発してきた逐次近似最適化は単目的を対象にしていた。これを多目的最適化の手法である満足化トレードオフ法に拡張する。この際、それぞれの目的関数の近似と同時に補助的スカラー化目的関数の近似が必要になってくる。このために、本研究において、これまでの単一目的の逐次近似最適化と異なる追加学習点の取り方を工夫する。

フェーズ (3)

上記フェーズで開発した手法をプラント運用問題へ応用する。まず、小規模のパイロット研究を重ね、次第に実データに適用可能なものに洗練する。最終的には実データでテストし、実用性を検証する。

4. 研究成果

本研究で提案した手法は大別して、1) モデル予測、2) 多目的最適化の2つの要素からなる。以下に、それぞれにおける手法の背景、本研究の着想と内容について詳述する。

(1) モデル予測

近年、計算知能の分野ではRBF(Radial Basis Function) ネットワークやSVM(Support Vector Machine)の研究が盛んであり、識別問題や回帰問題においてその有効性が示されている。本研究代表者はこれまで静的な逐次近似最適化問題に対し、RBFネットワークやSVM等の計算知能の手法を用いてモデル予測を行ってきた。本研究では近年の本研究代表者の開発による μ - ν -SVMにもとづく関数近似 μ - ν -SVR(μ - ν -Support Vector Regression)を用いた。 μ - ν -SVMはゴールプログラミングによる判別分析で用いられていた外部偏差最小化および内部偏差最大化の思想をSVMに取り入れ、これまでのSVMにおける基本概念である最小内部偏差(マージン)最大化に加え、最大外部偏差最小化をも同時に達成しようとするものである。この結果、 μ - ν -SVMは非常に少ないサポートベクターで精度の良い判別能力を与えることが知られている。これを回帰曲線決定に応用したのが、 μ - ν -SVRである。 μ - ν -SVRは非常に少ないサポートベクターで精度の高い近似関数を

与えることが示されている。本研究で応用例として取り扱った火力発電の動特性シミュレーションには多大の時間がかかるためなるべく少ない学習サンプルで一定の精度をもつ近似関数を求めることが重要で、 μ - ν -SVRはこの目的に叶ったモデル予測手法であることを示した。

(2) 多目的最適化

多目的最適化に対しては、本研究代表者は1980年代初頭に意思決定者の選好情報を引き出しながら、最終決定解を求めるという対話型解法として、意思決定者の希求水準に基づく満足化トレードオフ法を提案し、いくつかの実際の工学問題に応用してその有効性を示した。満足化トレードオフ法は意思決定者の与えた希求水準に対して最も近いPareto解を提示し、もし意思決定者が示された解に不満であれば希求水準を変更するという繰り返しによって、最終的意思決定解を求めるものである。その特徴は、意思決定者の価値判断として最も判断が容易な希求水準をベースにしていること、希求水準変更に際しては意思決定者の判断を助けるために数理計画の感度解析を利用した自動トレードオフ法や適正トレードオフ法を提案していることである。この方法は意思決定者にとって判断が容易で視覚化もできることから、これまで数多くの実問題に適用されてきたが、本研究課題が対象とするような関数評価に多大の時間を要する問題において対話型計算に必要な関数評価をすべて解析シミュレーションによっていたのでは実際には適用困難である。そこで、複数ある目的関数および満足化トレードオフ法において解かれる補助的スカラー化目的関数をともに先に述べた μ - ν -SVRで近似することにより、現実的な回数関数評価回数で意思決定者の満足のいく解が得られることを明らかにした。

(3) 応用例

先に述べた提案手法の有効性を実問題で示すために、航空機の自動操縦制御問題および火力発電プラントの起動スケジュール問題を扱った。

航空機の飛行の物理モデルは比較的容易に求められるが、乱気流等の外乱に対しなるべく早くかつ旅客の快適性を保持して安定飛行に復帰する操縦スケジュールを本研究で提案した方法によって求め、良好な結果を得た。

火力発電プラントの起動スケジュール問題では、起動時間、燃料消費量、機器の寿命消費量、環境規制物質の排出量など、複数の評価指標を勘案しながら、オペレータがコンピュータとの対話を通じて起動スケジュールの

最適化をすることを試みた。火力発電プラントの起動特性は動特性シミュレーションにより予測できるが、1回のシミュレーションに数十分オーダーの計算時間を要するため、そのまま多目的最適化を行うと膨大な計算時間を費やしてしまう。本研究で提案した方法を用いることにより、オペレータは電力需要の要求に応じて、短時間内に様々な評価指標を勘案しながらプラント運用計画の意思決定を行うことが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13件)

- ① Hiroataka Nakayama, Yeboon Yun and Masakazu Shirakawa, Multiobjective Model Predictive Control, Multiple Criteria Decision Making for Sustainable Energy and Transportation Systems, ed. by M. Ehrgott, B. Naujoks, T. J. Stewart and J. Wallenius, Springer, 2010, pp. 277-288 査読有
- ② Junya Nishiguchi, Chosei Kaseda, Hiroataka Nakayama, Masao Arakawa and Yeboon Yun, Practical Approach to Outlier Detection using Support Vector Regression, Advances in Neuro-Information Processing, Springer, 2009, pp. 995-1001 査読有
- ③ Yeboon Yun, Min Yoon, Hiroataka Nakayama, Multi-objective optimization based on meta-modeling by using support vector regression, Optimization and Engineering, Vol. 10, 2009, pp. 167-181 査読有
- ④ Masakazu Shirakawa, Masao Arakawa and Hiroataka Nakayama, Intelligent Start-up Schedule Optimization System for a Thermal Power Plant, Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, Vol. 1, No. 5, 2007, pp. 690-705 査読有
- ⑤ Hiroataka Nakayama and Yeboon Yun, Multi-objective Model Predictive Optimization using Computational Intelligence, IFIP World Computer Congress: Artificial Intelligence in Theory and Practice, Springer, 2008, pp. 319-328 査読有
- ⑥ 尹禮分、中山弘隆、尹敏、計算知能を用いた逐次近似多目的最適化手法、計測自動

制御学会論文集、Vol. 43, No. 8, 2007,
pp.672-678 査読有

- ⑦ Hiroataka Nakayama, Yeboon Yun,
Combining Aspiration Level Methods in
Multi-objective Programming and
Sequential Approximate Optimization
using Computational Intelligence,
Proceedings of First IEEE Symposium on
Computational Intelligence in
Multi-Criteria Decision-Making, in
CD-ROM, 2007 査読有

[学会発表] (計10件)

- ① Hiroataka Nakayama, Multiobjective
Robust Optimization, 22nd Workshop on
Methodologies and Tools for Complex
System Modeling, 2009.9.1,
Laxenburg/Austria
- ② Hiroataka Nakayama, On Selection of
Additional Experiments in Sequential
Approximate Optimization,
International Conference Decision
Support for Telecommunications and
Information Society, 2008.9.3,
Warsaw/Poland
- ③ Hiroataka Nakayama, Some Remarks on
Multiobjective Optimization in
Industrial Applications, 5th. European
Congress on Computational Methods in
Applied Sciences and Engineering
(ECCOMAS 2008), 2008.7.1, Venice/Italy
- ④ Hiroataka Nakayama, Combining Aspiration
Level Methods in Multi-objective
Programming and Sequential Approximate
Optimization using Computational
Intelligence, First IEEE Symposium on
Computational Intelligence in
Multi-Criteria Decision-Making,
2007.4.3, Hawaii/USA

[図書] (計4件)

- ① Hiroataka Nakayama, YeboonYun, and Min
Yoon, Sequential Approximate
Multiobjective Optimization using
Computational Intelligence, Springer,
2009, 197
- ② Joshua Knowles and Hiroataka Nakayama,
Springer, Multiobjective
Optimization -Interactive and
Evolutionary Approaches-, Chapter
10: Meta-Modeling in Multiobjective
Optimization, 2008, 245-284
- ③ Theodor Stewart, Oliver Bandte,

Heinrich Braun, Nirupam Chakraborti,
Matthias Ehrgott, Matthias Gobel, T,
Yaochu Jin, Hiroataka Nakayama,
Silvia Poles and Danilo Di Stefano,
Springer, Multiobjective
Optimization -Interactive and
Evolutionary Approaches-, Chapter
10: Meta-Modeling in Multiobjective
Optimization, 2008, 285-328

- ④ 中山弘隆、岡部達哉、荒川雅生、尹 禮分、
現代図書、2007、290 頁

[その他]

ホームページ等

<http://it.is.konan-u.ac.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中山 弘隆 (NAKAYAMA HIROTAKA)

甲南大学・知能情報学部・教授

研究者番号：20068141