

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 27 日現在

機関番号：34506

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22510164

研究課題名（和文）

計算知能による逐次近似多目的ロバスト最適化と工学問題への応用

研究課題名（英文）

Sequential Approximate Multiobjective Robust Optimization using Computational Intelligence and its Applications to Engineering 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）：

工学設計など多くの実際問題に対する最適化においては、モデル誤差や実施誤差がどうしても生じ、解としてはできる限り最適であると同時にこれらの誤差に対しロバストであるという性質が望まれる。また、実際問題では評価関数が設計変数によって陽に表せないことが多く、ここに、逐次サンプル点を追加してメタモデルの精度を上げていくことにより、解の精度も上げていく逐次近似最適化が重要な役割を果たす。本研究では、多目的をもつ工学問題に対し、ロバスト性を加味した逐次近似多目的最適化モデルとその解法について考察した。

研究成果の概要（英文）：

In many practical engineering problems, objective functions can not be given explicitly in terms of design variables, but the solution is searched in parallel with refining the mathematical model adding experimental samples sequentially. Therefore, model errors appear inevitably. In addition, implementation errors are also inevitable in practical problems. On this circumstance, it is desirable to obtain a solution which is optimal and robust in the sense that is insensitive against those errors. In this research, robust multiobjective optimization is studied under sequential approximate modeling using computational intelligence.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
2012年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

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：多目的最適化、ロバスト最適化、逐次近似最適化、計算知能、パレート最適

1. 研究開始当初の背景

工学設計などの実際問題の多くでは数学的

モデルを作るために多くの実験やシミュレーションを必要とする。本研究代表者は実験

やシミュレーションの回数をできる限り少なくするために、モデルを予測しながら最適化をおこなうという逐次近似最適化（モデル予測最適化ともいわれる）の研究に従事し、計算知能を用いたいくつかの手法を提案し、実問題に適用してその有効性を検証してきた。このようなアプローチは実問題での必要性が高く、国内外の多くの工学設計に関する学会でも近年とくに関心が高まってきており、研究報告が多くなっている。本研究代表者は、とくに非線形性の強い工学の問題では、モデル予測（あるいはモデルの近似モデルという意味でメタモデルと言われることもある）に対してはサポートベクターマシンなどの機械学習の手法を用いることが有効であることを確かめ、すでに実際の問題にも適用してきた。

ところで、実際には作成したモデルにどうしても誤差が入り、また実行時にも誤差が入る。したがって、このような誤差の影響を大きく受ける解を提示したのでは結果的には要求された水準から大きく離れてしまうことになる。このように誤差や環境の変化による影響ができる限り少ないというロバストな性質をあわせもつ最適解を求めることが重要となる。

単目的最適化の観点からは誤差や外乱に対しロバストな解を求めるためにこれまでにタグチメソッドやシックスシグマ法が提案され、広く用いられている。これらの方法はいずれも誤差や外乱を想定しながら、性能の期待値をできる限り高めると同時に設計や製品のバラツキをできる限り抑えるということを目指している。単目的最適化が根底にあるため、多目的最適化問題にそのまま適用しようとするすると複数ある目的を一元化する必要がある。しかし、安易な一元化が技術的にも、また実際上からも多くの問題点を含んでいることはよく知られている。ここに、多目的最適化問題に対しては特別な考察を施して、ロバストな最適解を求める必要が出てくる。

2. 研究の目的

本研究では多目的最適化問題に対する解のロバスト性をパレート最適性の維持という観点から定義し、パレート解集合全体のロバスト性よりも実際の意思決定者の希求を反映した解でかつロバストな性質をもつ解を求める有効な方法を提案し、工学問題に適用しその有効性を検証することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) まず、多目的最適化問題におけるロバスト性を検討する。すなわち、いくつかの意味でロバスト解の定義が考えられるが、誤差や外乱によってパレート最適性ができる限り保持される性質をロバストな解として定義する。その上で、どのような誤差や外乱が考えられ、それらに対してどのようなアプローチが適切かを検討する。

(2) パレート最適性の保持と言う意味でのロバスト性を考えるとき、一元化された目的関数を念頭に置いた性能の期待値や分散といった指標は問題点が多く、ここにあらたな指標を考える必要が出てくる。性能の期待値や分散といった指標は不確実性を統計的に考察した結果であるが、これらが有効に使えない多目的最適化においては不確実性を楕円体で近似したモデルを適用することが有効と考えられる。このような考えは確定論的に不確実性を処理した Ben-Tal 等による「ロバスト最適化」の理論に見られる。本研究では、これらの成果を踏まえ、多目的問題におけるロバスト最適化の理論を構築し、同時に解を求めるための手法についても提案する。

(3) 上記の理論や手法を実際問題に適用するには逐次近似最適化の枠組みの中で実施することが必要となる。ここに、計算知能を用いたモデル予測が重要な役割を果たすが、従来のように単に最適化を行うだけでなく、ロバスト性も求めるため、特別な工夫が必要となる。

(4) 提案された方法の有効性を具体的な問題によって検証する。

4. 研究成果

多目的最適化における解のロバスト性としてはパレートフロンティア全体が誤差や外乱の影響をあまり受けないという定義をしている研究が多いが、実際的意思決定ではパレートフロンティア全体のロバスト性よりも、むしろ意思決定の解のロバスト性が問題となる。したがって、本研究では意思決定の解を意思決定者との対話によって効果的に引き出す対話型手法の一つである満足化トレードオフ法を用いた解のロバスト性を考察した。詳しく言えば、満足化トレードオフ法を用いて導出した解がロバストであるとは、実施の際の誤差やモデル誤差が含まれる環境下においてできる限りパレート最適性を保持することとする。次の2つに分けて考察を行った。

(1) 実施解の誤差に対するロバスト性

多目的最適化においては、複数ある目的に重みをかけて加え合わせるという単純な線形荷重和による方法で処理することが多い

が、重みの調節によっては意思決定者の望む解を得ることは困難なことが本研究代表者によって指摘されている。満足化トレードオフ法は重みの調節によってではなく、意思決定者の希求水準の調節によって効率的に意思決定者の望む解が得られるよう工夫されている。詳しくは、意思決定者の与えた希求水準に対して補助的スカラー最適化問題を解くことにより最も近い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。満足化トレードオフ法による解の必要条件是幾何学的には目的関数空間における実行可能集合に対する解での接平面の存在と等価である。したがって、パレート最適性の保持はこの接平面からの乖離ができる限り少ないこととなるので、ロバスト性は設計変数の誤差による目的関数値の変化ベクトルと接平面の法線ベクトルとの内積の大小によって評価できる。このことを理論的に明らかにし、解のロバスト性を評価する方法を与えた。

(2) モデル誤差に対するロバスト性

実際の工学設計問題等では数学モデルが正確に得られる場合は少なく、設計変数が与えられたとき構造解析、振動解析、流体解析、熱解析等のシミュレーションによる応答値からその数学的モデルを予測するというアプローチが取られることが多い。本研究ではこのような近似モデルの生成には本研究代表者が提案した計算知能の一つである μ - ν -SVRを用いる。 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。また追加実験点の数がなるべく少なくなるよう、その与え方については本研究代表者等が提案している局所情報・大局情報を同時に追加する方法および期待改善量にもとづく方法を用いている。これらによって少ない実験点によって精度の高い近似モデルを生成することができることを確認しているが、どうしてもモデル誤差を完全に排除することはできない。

このようなどときには解がモデルの誤差の影響をできる限り受けたくないことが望ましい。したがって、満足化トレードオフ法を用いて求めた解がモデル誤差の影響をどの程度受けるか吟味することが必要となる。モデル誤差の影響については数学的に厳密な評価方

法は困難なため、本研究ではモデル誤差の大きさを変化させたとき、満足化トレードオフ法による解の近傍においてパレートフロンティアがどのように変化するかを見ることによって、そのロバスト性を判断する方法を提案した。

以上の方法をいくつかの工学設計のベンチマーク問題に適用し、その有効性を確かめた。

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 12 件)

- ① Yeboon Yun and Hiroataka Nakayama, Generalized data envelopment analysis and computational intelligence in multiple criteria decision making, Multicriteria Decision Aid and Artificial Intelligence: Links, Theory, and Applications, M. Doumpos and E. Grigoroudis (eds.), John Wiley, 2013, pp. 209-233 査読有
- ② 尹 禮分, 中山弘隆, 期待改善量と一般化包絡分析法を用いたパレート解の生成法, システム制御情報学会論文誌, Vol. 25, 2012, pp. 189-195 査読有
- ③ Hiroataka Nakayama, Yeboon Yun and Yuki Uno, Parameter tuning of large scale support vector machines using ensemble learning with applications to Imbalanced data sets, "Proceedings of 2012 IEEE International Conference on Systems, Man, Cybernetics", CD-ROM, 2012, pp. 2815-2820 査読有
- ④ 中山弘隆, 尹 禮分, 計算知能の逐次近似最適化への応用, オペレーションズ・リサーチ Vol. 57, 2012, pp. 270-275, 査読有
- ⑤ 中山弘隆, システム設計における多目的性, システム/制御/情報, Vol. 55, 2011, pp. 353-358 査読無
- ⑥ Hiroataka Nakayama, Sequential approximate multiobjective optimization using computational Intelligence, Operations Research and its Applications, Xiang-Sun Zhang, De-Gang Liu, Ling-Yun Wu and Yong Wang (eds.), 2010, pp. 1-12, 査読無
- ⑦ Hiroataka Nakayama, Yeboon Yun and Yuki Uno, Combining predetermined models and SVM/RBFN for regression problems, "The 6th China-Japan-Korea Joint Symposium on Optimization of

Structural and Mechanical Systems”
Paper No. J-64, CD-ROM, 2010, 8 pages
査読有

- ⑧Hiroataka 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

[学会発表] (計9件)

- ①Hiroataka Nakayama, Yeboon Yun and Yuki Uno, Parameter tuning of large scale support vector machines using ensemble learning with applications to Imbalanced data sets, 2012 IEEE International Conference on Systems, Man, Cybernetics, 2012.10.17, Seoul/Korea
- ②Hiroataka Nakayama and Yuki Uno, Parameter Tuning in Support Vector Regression for Large Scale Problems, International Symposium in Science and Technology at Kansai University 2011.8.24, Osaka/Japan
- ③Hiroataka Nakayama, Sequential Approximate Multiobjective Optimization using Computational Intelligence, The 9th International Symposium on Operations Research and its Applications, 2010.8.20, Chengdu/China
- ④Hiroataka Nakayama, and Yeboon Yun, Combining Predetermined Models and SVM/RBFN for Regression Problems, The 6th China-Japan-Korea Joint Symposium on Optimization of Structural and Mechanical Systems, 2010.6.22, Kyoto/Japan

[図書] (計1件)

- ①Hiroataka Nakayama, Yeboon Yun and Masakazu Shirakawa, Computational Intelligence in Expensive Optimization Problems ed. by Yoel Tenne and Chi-keong Goh, Chapter10: Multiobjective Model Predictive Control Using Computational Intelligence, Springer, 2010, pp.249-264

[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