



制約条件の感度解析を統合したハイブリッド型多目的PSOの制約囲い込み法の改善

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2018-01-24 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 川治, 翔一郎, 小木曾, 望 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10466/15708

制約条件の感度解析を統合したハイブリッド型多目的 PSO の 制約囲い込み法の改善*

川治 翔一朗*¹, 小木曾 望*²

Improvement of Constraint Handling Technique for Hybrid-Type Multiobjective Particle Swarm Optimization Integrated with Constraint Sensitivity Analysis

Shoichiro KAWAJI*¹ and Nozomu KOGISO

*¹ Department of Aerospace Engineering, Osaka Prefecture University
1-1 Gakuen-Cho, Naka-ku, Sakai, Osaka, 599-8531 JAPAN

The authors have proposed a hybrid-type multiobjective particle swarm optimization (MOPSO) integrated with constrained handling technique using sensitivity analysis on constrained conditions. When design candidate with constraint violation appears during searching process, the design candidate is moved to the feasible domain using gradient information of the constraint conditions. Then, the design candidate is moved to the feasible boundary using the bi-section method. This hybrid MOPSO method was then applied to the reliability-based multiobjective optimization (RBMO) problem that considers uncertainties on design parameters such as material properties or load conditions. However, the algorithm sometimes suffers from numerical instability problem. Thus, in this paper, a new constraint handling technique is proposed to improve the computational efficiency. The new method is based on “Elimination of zigzagging iterations” method that the searching direction is determined from constraint sensitivity values evaluated at current and previous iterations. The effectiveness of the proposed technique is verified through several numerical examples including deterministic and reliability-based multiobjective optimization problems.

Key Words : Multiobjective Optimization, Sensitivity Analysis, Constraint Handling, Reliability-Based Multiobjective Optimization, Calculation Efficiency

1. は じ め に

著者らは、多目的粒子群最適化 (Multiobjective Particle Swarm Optimization: MOPSO)^{(1)~(3)}において、制約付き多目的最適化問題のパレート解を効率よく探索するために、制約情報の感度解析と MOPSO を統合したハイブリッド型の MOPSO を提案した⁽⁴⁾。この手法では、MOPSO の繰り返し過程で制約条件を逸脱した個体に対して、制約条件の感度解析を用いて実行可能領域に移動させ、さらに二分法を用いて実行可能領域境界に移動させる。この際、繰り返し計算を必要とするが、この移動により、従来の手法では有効に利用されていなかった個体を優れたパレート解候補として利用できるため、広範囲のパレート解を効率的に探索することができることを示した⁽⁴⁾。

さらに、著者らは、このハイブリッド法を信頼性に基づく多目的最適設計 (Reliability-Based Multiobjective Optimization (RBMO)) に適用した⁽⁵⁾。信頼性の評価には限界状態関数の感度情報が不可欠であり、このハイブリッド型多目的 PSO で利用する感度情報は、制約条件満足化だけでなく、信頼性の評価にも利用できる。また、RBMO のパレート解は信頼性に関する制約条件が活性化する実行可能領域境界に存在することが多いため、この手法は RBMO にこそ適している。さらに、この手法を単一ループ法の信頼性に基づく最適設計法である SLSV (Single-Loop-Single-Vector) 法⁽⁶⁾を統合することで、効率的にパレート解を探索できることを示した⁽⁵⁾。

* 原稿受付 2012 年 12 月 XX 日

*¹ 大阪府立大学大学院工学研究科航空宇宙工学分野 (〒 599-8531 大阪府堺市中区学園町 1-1)

*² 正員, 大阪府立大学大学院工学研究科航空宇宙工学分野 (〒 599-8531 大阪府堺市中区学園町 1-1)

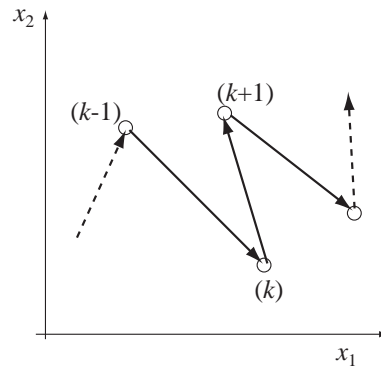


Fig. 1 Typical undesirable iteration type during the constraint satisfaction process

しかしながら，どんな場合でも効率的に移動できるわけではない．特に，移動によって逸脱する制約条件が入れ代わる場合や制約条件の非線形性が強い場合には，図 1 に示すようにジグザグしながら実行可能領域へと近づくために，計算効率が悪い．この制約満足化のための移動には，現時点で逸脱している制約条件の感度のみを利用しているために，最適設計における最急降下法のようなになるからである．また，感度を利用する最適設計法と同様に，制約条件の非線形性が強い場合にはジグザグしながら進み，計算効率が悪くなる．

このように計算効率が悪くなるケースは，信頼性解析や信頼性に基づく最適設計 (Reliability-Based Design Optimization: RBDO) においても知られていて，その計算効率を改善する方法が提案されている⁽⁷⁾⁽⁸⁾．その改善方法では，探索方向を決定するために，現在の感度だけでなく，繰り返しにおける前回の感度の値を用いるという特徴がある．それらの情報を用いて，探索がジグザグ運動をしていると判断された場合には，前回の感度を利用して探索方向を修正し，探索効率を改善している．あたかも，最急降下法に対する共役勾配法のようなものである．著者の一人は，このような改善法を RBDO における単一ループ法である SLSV 法に応用する手法を提案し，探索効率が大幅に改善されることを示した⁽⁹⁾．

本論文では，著者らが提案した制約条件の感度を用いるハイブリッド型多目的 PSO⁽⁴⁾⁽⁵⁾の制約満足化過程の計算効率の改善するために，現在の設計候補点だけではなく，繰り返し過程における以前の候補点における制約条件の感度を利用することで，探索効率を改善する方法を提案する．そして，いくつかのベンチマーク問題に適用した計算例を通して，その有効性を示す．

文 献

- (1) Coello Coello, C. A., Pulido, G. T., and Lechuga, M. S., "Handling Multiple Objectives with Particle Swarm Optimization", *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, Vol. 8, No. 3 (2004), pp. 256-279.
- (2) Reyes-Sierra, M. and Coello Coello, C. A., "Multi-Objective Particle Swarm Optimizers: A Survey of the State-of-the-Art", *International Journal of Computational Intelligence Research*, Vol. 2, No. 3 (2006), pp. 287-308.
- (3) Durillo, J. J., García-Nieto, J., Nebro, A. J., Coello Coello, C. A., Luna, F., and Alba E., "Multi-Objective Particle Swarm Optimizers: An Experimental Comparison", *Proceedings of the 5th International Conference on Evolutionary Multi-Criterion Optimization* (2009), pp. 495-509.
- (4) 小木曾 望, 川治 翔一郎, 小原 正宜, 石亀 篤司, 佐藤 恵一, 多目的 PSO と制約条件の感度解析を統合した制約あり多目的最適設計問題の解法, *日本機械学会論文集 C 編*, Vol. 78, No. 785 (2012), pp. 201-213.
- (5) 小木曾 望, 川治 翔一郎, 小原 正宜, 石亀 篤司, 佐藤 恵一, 制約の感度を用いるハイブリッド型多目的 PSO を利用した信頼性に基づく多目的最適設計, *日本機械学会論文集 C 編*, Vol. 78, No. 790 (2012), pp. 2229-2240.
- (6) Chen, X., Hasselman, T. K., and Neill, D. J., "Reliability Based Structural Design Optimization for Practical Applications", *Proceedings of 38th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference*, Vol. 4, (1997), AIAA-97-1403, pp. 2724-2732.

- (7) Lee, J. O., Yang, Y. S., and Ruy, W. S., A Comparative Study on Reliability-Index and Target Performance-Based Probabilistic Structural Design Optimization, *Computers and Structures*, Vol. 80, No. 3-4 (2002), pp. 257-269.
- (8) Youn, B. D., Choi, K. K., and Park, Y. H., Hybrid Analysis Method for Reliability-Based Design Optimization, *Journal of Mechanical Design*, Vol. 125, No. 2 (2003), pp. 221-232.
- (9) Kogiso, N., Yang, Y.-S., Kim, B.-J., and Lee, J.-O., Modified Single-Loop-Single-Vector Method for Efficient Reliability-Based Design Optimization, *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, Vol. 6, No. 7 (2012), pp. 1206-1221.
- (10) Deb, K., *Multi-Objective Optimization Using Evolutionary Algorithms*, (2001), Wiley.
- (11) Kennedy, J., and Eberhart, R. C., *Swarm Intelligence* (2001), Morgan Kaufmann Publishers.
- (12) 石亀 篤司, 安田恵一郎, “群れの知能: Particle Swarm Optimization”, 日本知能情報フエジィ学会誌, Vol. 20, No. 6 (2008), pp. 829-839.
- (13) Nebro, A. J., Durillo, J. J., García-Nieto J., Coello Coello, C. A., Luna, F., and Alba, E., “SMPSO: A New PSO Metaheuristic for Multi-objective Optimization”, *Proceedings of IEEE Symposium on Computational Intelligence in MCDM* (2009), pp. 66-73
- (14) Higashitani, M., Ishigame, A., and Yasuda, K., “Particle Swarm Optimization Considering the Concept of Predator-Prey Behavior”, *Proceedings of 2006 IEEE Congress on Evolutionary Computation* (2006), pp. 1541-1544.
- (15) Coello Coello, C. A., “Theoretical and Numerical Constraint-Handling Techniques Used with Evolutionary Algorithms: A Survey of the State of the Art”, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, Vol. 191 (2002), pp. 1245-1287.
- (16) Sienz, J. and Innocente, M. S., “Particle Swarm Optimization: Fundamental Study and its Application to Optimization and to Jetty Scheduling Problems”, Chap. 6, *Trends in Engineering Computational Technology*, Topping, B. H. V. and Papadrakakis, M., Eds. (2008), pp. 103-126, Saxe-Coburg Publications.
- (17) Woldesenbet, Y. G., Yen, G. G., and Tessema, B. G., “Constraint Handling in Multiobjective Evolutionary Optimization”, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, Vol. 13, No. 3 (2009), pp. 514-525.
- (18) Hu, X., and Eberhart, R., “Solving Constrained Nonlinear Optimization Problems with Particle Swarm Optimization”, *Proceedings on 6th World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics* (2002), pp. 203-206.
- (19) Venter, G. and Sobieszcanski-Sobieski, J., “Particle Swarm Optimization”, *AIAA Journal*, Vol. 41, No. 8 (2003), pp. 1583-1589.
- (20) 北山哲士, 荒川雅生, 山崎光悦, “非劣解の多様性を考慮した多目的 Particle Swarm Optimization”, 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 74, No. 742 (2008), pp. 1575-1583.
- (21) He, S., Prempan, E. and Wu, Q. H., “An Improved Particle Swarm Optimizer for Mechanical Design Optimization Problems”, *Journal of Engineering Optimization*, Vol. 36, No. 5 (2004), pp. 585-605.
- (22) Bochenek, B., and Foryś, P., “Structural Optimization for Postbuckling Behavior Using Particle Swarms”, *Structural and Multidisciplinary Optimization*, Vol. 32 (2006), pp. 521-531.
- (23) Venter, G., and Haftka, R. T., “Constrained Particle Swarm Optimization Using a Bi-Objective Formulation”, *Structural and Multidisciplinary Optimization*, Vol. 40 (2010), pp. 65-76.
- (24) Li, L. D., Li, X., and Yu, X., “A Multi-Objective Constraint-Handling Method with PSO Algorithm for Constrained Engineering Optimization Problems”, *Proceedings of 2008 IEEE Congress on Evolutionary Computation* (2008), pp. 1528-1534.
- (25) Wei, J., and Wang, Y., “A Novel Multi-objective PSO Algorithm for Constrained Optimization Problems, Simulated Evolution and Learning”, *Proceedings of 6th International Conference on Simulated Evolution and Learning* (2006), pp. 174-180.

- (26) Izui, K., Nishiwaki, S., Yoshimura, M., Nakamura, M., and Renaud, J. E., "Enhanced Multiobjective Particle Swarm Optimization in Combination with Adaptive Weighted Gradient-Based Searching", *Engineering Optimization*, Vol. 39 (2007), pp. 981-998.
- (27) Bosman, P. A. N., and de Jong, E. D., "Exploiting Gradient Information in Numerical Multi-objective Evolutionary Optimization", *Proceedings on Genetic and Evolutionary Computation Conference* (2005), p. 755-762.
- (28) He, Q., and Wang, L., "A Hybrid Particle Swarm Optimization with a Feasibility-Based Rule for Constrained Optimization", *Applied Mathematics and Computation*, Vol. 186 (2007), pp. 1407-1422.
- (29) Deb, K., "An Efficient Constraint Handling Method for Genetic Algorithms", *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, Vol. 186 (2000), pp. 311-338.
- (30) A. Oyama, K. Shimoyama, and K. Fujii, "New Constraint Handling Method for Multi-Objective and Multi-Constraint Evolutionary Optimization", *Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences*, Vol. 50, No. 167 (2007), pp. 56-62.
- (31) Knowles, J. D., and Corne, D. W., "Approximating the Nondominated Front using Pareto Archived Evolution Strategy", *Evolutionary Computation*, Vol. 8, No. 2 (2000), 149-172.
- (32) Mostaghim, S., and Teich, J., "Strategies for Finding Good Local Guides in Multi-objective Particle Swarm Optimization", *Proceedings on IEEE Swarm Intelligence Symposium* (2003), pp. 26-33.
- (33) Liang, J., Mourelatos, Z. P., and Tu, J., "A Single-Loop Method for Reliability-Based Design Optimization", *ASME 2004 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*, ASME DETC 2004-57255 (2004)
- (34) Gong, W., Cai, Z., and Zhu, L., "An Efficient Multiobjective Differential Evolution Algorithm for Engineering Design", *Structural and Multidisciplinary Optimization*, Vol. 38 (2009), pp. 137-157.
- (35) Deb, K., Thiele, L., Laumanns, M., and Zitzler, E., "Scalable Test Problems for Evolutionary Multiobjective Optimization", *Evolutionary Multiobjective Optimization*, Abaraham, A., Jain, L., and Goldberg, R. Eds. (2005), pp. 105-145, Springer-Verlag.