

論文内容の要旨

氏 名 山仲 芳和

工学をはじめとする様々な分野で解決すべき問題の多くは最適化問題に帰着する．最適化問題は時不変もしくは時変な目的関数を最小化する最適解を求めることに定式化され，これらはそれぞれ静的問題，動的問題とよばれる．評価関数が微分可能かつ凸関数であれば評価関数の勾配情報を用いて最適解を解析的に求められる．しかし，工学の分野で解くべき最適化問題では一般的に勾配情報を得ることが容易ではない．そのため勾配情報を用いず，探索点とよばれる解を試行錯誤的に更新して最適解を探索する直接探索法が必要となる．計算機の性能向上に伴い，複数の探索点を用いる多点探索型の直接探索法が着目されており，これまでに多くの実問題でその有効性が示されている．一方で，多点探索型手法のパラメータ設定や，より効率的な手法の設計には課題がある．近年の静的問題における研究では複数回の試行を繰り返してパラメータを調整する方法や，探索点を得た評価値に応じてパラメータを制御する方法が盛んに研究されている．これらの研究によってユーザが設定すべきパラメータの数を減らし，探索性能の向上が実現されているが，手法が複雑になることは避けられない．複雑な手法は実問題で最適化手法を利用するユーザにとってアルゴリズムの理解と実装を難しくする．また工業製品を個別に調整・最適化する需要は高まっており，これを低コストで実現するために電気回路による多点探索型手法の実装が望まれるが，複雑な手法はその実装に課題が多い．加えて，回路実装では探索点を力学系で更新する必要があるが，どのように探索点を更新すべきかといった力学的な知見も十分とはいえない．動的問題を対象とした手法でも同様の課題がある．近年の動的問題に対する多くの提案法は，静的問題で用いられる手法で最適解を探索しながら評価関数の変動を監視し，変動の検出時には何らかの適応処理を行う．これらは動的問題における多点探索型手法の有効性を示した大きな成果を挙げているが，その手法は複雑さが増している．また，適応処理そのものや，適応処理を含めた探索動作について力学的な知見が十分とはいえない．

そこで本論文ではカオス力学系に基づいて静的問題，動的問題で優れた性能を示す簡素な多点探索型直接探索法の実現と，探索点の時間的な振る舞いに着目した探索性能に寄与する力学的特徴の解明を目的とした．カオスは決定論的な力学系が呈する複雑な非線形現象であり，その複雑な振る舞いは最適解の探索にも有効であると期待される．カオスを呈する力学系，すなわちカオス力学系は簡素な差分方程式で記述することができ，電気回路でも多くの実装例がある．そのためカオス力学系に基づいて高性能な多点探索型手法が実現されれば，手法として簡素であり，将来的にその回路実装がおおいに期待される．本論文では最適解の探索に適したカオス力学系を新しく設計し，この系に基づいて探索点を更新する決定論的な多点探索型手法を提案した．一般的に決定論的な最適化手法は高次元の静的な最適化問題において優れた結果を得ることが難しいとされるが，提案法はこれらの問題においても実問題で有効性が数多く報告されている既存の多点探索型手法よりも優れた結果を示した．また，提案法は探索動作を支配するダイナミクスを変更することなく，

手法の簡素さを保ったまま動的問題にも適用できることが示され、その性能は既存の動的問題を対象とした手法よりも優れていた。すなわち、カオス力学系に基づいて静的問題、動的問題で優れた性能を示す簡素な多点探索型直接探索法が実現された。また、提案法を解析し、探索性能に寄与する力学的特徴を明らかにした。これまでも力学系に基づいて探索点を更新する多点探索型手法が解析されており、探索点が最適解もしくは優良な解があると期待される領域に留まる非発散な振る舞いが重要であることが知られている。本論文で提案する手法では、探索点がこの非発散な振る舞いを満たすが、力学系のパラメータによる性能差が確認される。そのため、この要因の解明により従来の安定性の解析からさらに踏み込んだ力学的な知見が得られると期待された。そこであるパラメータにおいて、探索点の基本的な振る舞いであるカオス力学系が呈する解軌道を、時間的な特徴量に着目して定量化した。同じパラメータを用いて提案した最適化手法で静的問題の最適解を探索し、その性能を測定した。カオス力学系から得た特徴量と測定した性能との相関を解析した結果、探索点の移動履歴である時系列が正と負の値をとりながら減衰振動する自己相関関数を呈するときに優れた解を発見しており、探索点の時間的な振る舞いが探索性能に寄与することが明らかにされた。

本論文ではカオス力学系が有する特有の力学的な特徴を応用して新しい多点探索型最適化手法を実現した。提案法は簡素な力学系に従いながら静的・動的問題の両方で優れた性能を示す従来にない最適化手法であり、実問題での応用やその回路実装によって工学分野における多点探索型手法の応用に大きく寄与するものである。また、本論文で明らかにした探索性能に寄与する力学的な知見は、多点探索型手法の回路実装や、今後の多点探索型手法の理論的な設計指針において重要な成果である。