



Title: Parallel Nested-Layer Particle Swarm Optimization for Bifurcation Parameter Detection

(分岐パラメータ検出のための並列入れ子層粒子群最適化)

Authors: Hasegawa Tomo, Matsushita Haruna, Kousaka Takuji, Kurokawa Hiroaki

(長谷川朝 (東京工科大 学生 (現卒業生)), 松下春奈 (香川大学 准教授)、高坂拓司 (中京大学 教授)

黒川弘章 (東京工科大学 教授))

Journal: Proceedings of 15th International Conference on Information and Communication Technology Convergence, ICTC 2024, pp. 1824–1827

掲載年月: 2024 年 10 月

研究概要: 非線形力学系における分岐パラメータを検出するために、Nested-Layer Particle Swarm Optimization (NLPSO) が提案されています。NLPSO による分岐パラメータの検出は、正確な初期化を必要とせず、力学系の微分情報を必要としないため、シンプルな手法ですが、計算量が多い欠点があります。そこで、我々は、並列計算を用いてこの問題を解決する並列 NLPSO を提案し、ソフトウェアライブラリとして実装しました。並列化は NLPSO アルゴリズムをマルチコア CPU 上で実行できるように最適化することで実現しています。本論文では、並列 NLPSO の計算時間の評価を示します。

研究背景: 世の中の現象の多くは力学系で記述できます。力学系が記述できる様々な現象を解析する上で、分岐解析は不可欠です。分岐点の導出は最適化問題として定式化され、従来はニュートン・ラプソン法に基づく手法が用いられてきましたが、我々はこれまでに粒子群最適化 (PSO) に基づく Nested Layer Particle Swarm Optimization (NLPSO) を提案してきました。PSO はアルゴリズムのプロセスが単純であるため様々な問題に適用しやすく、目的関数の勾配情報を必要としない汎用性の高い最適化手法です。NLPSO は、2つの PSO を入れ子状に組み合わせたもので、従来の方法に比べて探索初期値の設定などで有利な点がありますが、計算量の多さが欠点でした。そこで我々は、この問題を解決するために、並列 NLPSO を提案し、システムを記述する方程式、分岐が発生するサイクル数、探索範囲のみを入力することで動作するソフトウェアライブラリを開発しました。

研究成果: 並列化と言うと最近では GPU を用いる方法が多いのですが、一般的なパソコンで実行できるソフトウェアを目標にアルゴリズムを工夫してソフトウェアを開発しました。開発したソフトウェアは離散時間および連続時間の力学系における周期倍分岐や鞍節点分岐の分岐パラメータを探索することができます。本稿では、並列 NLPSO の概要とその有効性を紹介しています。

社会的・学術的なポイント: 非線形力学系における分岐パラメータの探索は、世の中の多くの現象を解析する上で大事な技術です。この問題に対して汎用性の高い解決手法を提供しています。提案されたアルゴリズムは計算資源の限られた中で効率的な並列化を行うための工夫が特徴です。

用語解説:

力学系: 時間の経過に伴って状態が変化する現象を微分方程式により記述したものです。物理学、工学、生物学、経済学など様々な分野の現象を記述します。数学的な記述を行うことでシステムの時間発展を解析することができますようになります。力学系の中でも非線形関数が含まれているものを非線形力学系と言います。

分岐パラメータ: 非線形力学系において、系を記述する数式に含まれるパラメータは、その値を変化させると、その力学系の振る舞いが突然変化することがあります。そのような突然の振る舞いの変化を分岐と言い、境界を示すパラメータを分岐パラメータと呼びます。

粒子群最適化: 群知能 (Swarm Intelligence) に基づく最適化アルゴリズムの一つで、複雑な最適化問題を解くことができる手法です。ここで最適化問題は一定の条件の中で最も良い値を探す問題を言います。粒子群最適化は鳥の群れや魚の群れが協力して餌を探す行動に着想を得ていると言われています。

並列化: アルゴリズムを分割し、複数のプロセッサを用いて計算することを言います。最近のコンピュータは計算を行うユニットを複数持っているためそれらを効率的に使用して計算速度を上げることができます。