

## Abstract

**Title:** An Application of Artificial Intelligence to Scheduling Optimization in Unit Commitment  
(知的最適手法を適用した発電機起動停止計画問題の解法)

This research is on unit commitment (UC) in power systems. The UC in power systems involves to properly schedule all the existing resources in the system. In addition to fulfill a large number of constraints, the optimal UC should meet forecast load demand calculated in advance, spinning reserve requirements, ramp rate constraints, etc. at every time interval such that the total cost is minimum. The UC problem is a combinatorial optimization problem with both binary and continuous variables in huge searching space. The number of combinations of 0-1 variables grows exponentially for the large-scale UC problem. Therefore, the UC is one of the most difficult problems in power optimization area.

In this research, some new useful approaches have been proposed for the UC problem. Till now, the candidate has tried to apply and test most of the latest discrete, continuous, and combinatorial Optimization techniques, e.g., Simulated Annealing (SA), Particle swarm Optimization (PSO), Ant Colony Optimization (ACO), Genetic Algorithms (GA), GA after clustering for dimension reduction, Evolutionary Programming (EP), Tabu Search (TS), etc., and also some of their fuzzy, twofold and memory-bounded versions. Important proposed methods are discussed in separate chapters. The candidate has successfully applied a modified version of SA algorithm namely Absolutely Stochastic SA. Fuzzy UC model is also considered, as forecast load demand is imprecise. Continuous  $\lambda$ -calculation has been developed for the most time consuming economic load dispatch (ELD) in the UC problem to reduce overhead recalculations. Twofold version: Decomposition of hourly schedule and coupling has been proposed to reduce blindness in optimal searching and to increase local searching ability. Wastage time of generating infeasible solutions by random bits flipping in twofold-SA is less than that of standard SA. Appropriate heuristics for the UC and ELD have also been tested, however results are moderate there. Direct and indirect repairs have been introduced to avoid frequently generating infeasible solutions, which obviously accelerate the searching process.

This study has established some contributions on unit commitment optimization - (1) fuzzy UC model is more preferable than crisp UC; (2) absolutely stochastic SA is better and flexible version of standard SA; (3) dimension reduction is possible by clustering for a large-scale unit commitment problem; (4) twofold version can reduce blindness in the UC searching; (5) adaptive PSO has better balance between local and global searching abilities in the UC problem; (6) direct repair, indirect repair, appropriate distributions are suitable for constraints management. Simulation results show effectiveness of the contributions.

平成19年1月22日

琉球大学大学院  
理工学研究科長 殿

論文審査委員

主査 氏名 千住 智信



副査 氏名 藤井 智史



副査 氏名 金城 寛



学位（博士）論文審査及び最終試験の終了報告書

学位（博士）の申請に対し、学位論文の審査及び最終試験を終了したので、下記のとおり報告します。

記

申請者	専攻名 総合知能工学専攻 氏名 SABER AHMED YOUSUF 学籍番号 <span style="background-color: black; color: black;">XXXXXXXXXX</span>
指導教員	千住 智信
成績評価	学位論文 <span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">合格</span> 不合格 最終試験 <span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">合格</span> 不合格
論文題目	An Application of Artificial Intelligence to Scheduling Optimization in Unit Commitment (和文題目: 知的最適化手法を適用した発電機起動停止計画問題の解法)
審査要旨 (2000字以内)	電力自由化の進展により電力供給事業者は収益を増加させることが求められている。このような課題に対して電気工学分野が貢献できる経費削減手法として発電機の起動停止計画の最適化がある。すなわち、電気エネルギーの大量貯蔵は一般に困難であるため、電気エネルギーの需要に応じて発電事業者は電気エネルギーを供給しなければならない。発電設備は容量の大小ならびに発電機の種類に応じて起動時間や発電単価が異なり、さらに発電機固有の制約や電力系統の様々な制約も満足して運転する必要がある。従って、発電機の起動停止計画問題の最

(次頁へ続く)

適化は多数の制約が存在する発電機運転コスト最小化問題として定式化されるため、特に大規模な発電機群の起動停止計画を最適化することは困難であるとされている。この問題に対する最適化手法はこれまでも報告されているが、数百機から構成される大規模な発電機群の最適化問題を短時間で解く効率的なアルゴリズムはほとんど報告されていない。また、翌日 24 時間の電力需要は正確な予測値が得られると想定して最適化されているため、電力需要の予測値と実際値が一致しない場合には、当日の発電機の運転状況が計画された運転状況と異なるため発電機運転コストが増加することが指摘されている。

本研究では、大規模発電機群の最適起動停止計画を短時間で作成するアルゴリズムを提案している。作成された起動停止アルゴリズムは、種々の制約条件を満たしつつ、要求される電力需要を支障なく供給できる発電機起動停止計画を作成できる。また、作成された発電機起動停止計画は、最小経費で必要な電力を発電可能である。

本研究の成果を要約すると以下の内容となる。

1. 発電機特性の類似した発電機群を縮約することで発電機起動停止計画問題を解く手法を提案している。提案手法は解空間の低減をはかっているため、短時間で解がえられている。また、個々の発電機の最終的な起動停止計画を決定する際に知的手法を用いることによりさらなる最適化を実施している。
2. 翌日の電力需要予測誤差による発電機運用コスト増加に対処するため、ファジー推論の考え方を発電機起動停止計画問題に導入し、その考えを最適化手法の一種である焼きなまし法 (Simulated Annealing 法) に具体的に導入している。この結果、予測誤差の不確定性をファジー推論により表現することにより発電機運用コストの増加を回避している。
3. 最適化手法の一種である PSO (Particle Swarm Optimization) アルゴリズムを発電機起動停止計画問題に適用している。PSO アルゴリズムで用いるパラメータを適応的に調整する適応機能を組み込むことにより高速に最適解を得られることを示している。
4. 本研究論文で提案された最適負荷配分アルゴリズムは、解の収束に応じてパラメータを適応的に調整するとともに、得られた解の質に応じて計算を省くなどの知的アルゴリズムを組み込んで発電機起動停止計画問題の最適化時間を大幅に短縮した。

以上のように、本研究は大規模発電機群の起動停止計画問題を短時間で効率的に解くアルゴリズムを提案している。また、得られた解は実行可能解であり、発電機群を最小コストで運用可能である。従って、本研究は工学的に価値のある新しい成果を得ているため、提出された学位論文は博士の学位論文に相当するものとして学位論文の審査を合格とする。また、論文発表会における発表ならびに質疑応答の結果、申請者は専門分野および関連分野の十分な知識ならびに本学大学院博士後期課程修了者として十分な研究能力を有していることが確認できたので最終試験も合格とする。