

学位論文題名

配電損失最小化問題における
遺伝的アルゴリズムの適用に関する研究

学位論文内容の要旨

現在、国内における高圧配電系統は、その大部分が樹枝状（放射状）方式で運用されているが、供給信頼度を向上させるために幹線部分は常時閉状態の自動区分開閉器によって適当な区間に分割され、さらに幹線相互間は常時開状態にある区分開閉器によって多重に連系されており、事故時においても健全区間は隣接幹線から供給を受けられるようになっている。このような配電系統においては、区分開閉器の常時開放位置によって電力損失、電圧降下、潮流分布などが大きく異なってくることから、適切な開放位置を決定することは重要な問題である。

配電損失の最小化を目的とした区分開閉器の開放位置決定問題は、組合せ最適化問題として定式化されるが、系統規模によっては探索を必要とする組合せの数が膨大となることから厳密な最適解を得ることが難しく、これまでも様々な近似解法、例えば、数理計画法、ブランチ交換法、ヒューリスティック（エキスパートシステム）法などに基づく解法が検討されてきている。また近年、より正確な解を得る方法として、シミュレーテッド・アニーリング（Simulated Annealing: SA）を適用する手法が発表されているが、満足な解を得るためには演算時間がかかりすぎるという難点がある。

SA法と同様にランダムサーチの一つである遺伝的アルゴリズム（Genetic Algorithm: GA）の適用についても、既に提案されている。GAとは、生物の自然淘汰による進化を模擬した最適化手法であり、一世代ごとに多数の個体の環境に対する適応度を評価しながら増殖と淘汰を繰り返すことで、個体群全体がより適応度の高い状態へと向かう点に特徴がある。したがって、適応度の最も高い（エリート）個体が、ある世代において一定の割合を占めた状態を収束の条件として、各パラメータの値を適切に選択するならば、比較的早い時期に最適もしくは準最適解が得られる可能性が高い。また、並列演算による高速化も期待できる。しかし、GAの研究が本格的に行われるようになったのは最近になってからであり、まだ発展途上の研究領域であることから解決すべき課題も多い。その一つに、任意パラメータである交差率および突然変異率の決め方がある。一般に、経験に基づいたり、試行錯誤によって決定された値が用いられるが、これらの値が適切でないと収束が遅くなったり、誤収束に陥る危険性がある。例えば、探索速度を上げるべく進化を急にすると、集団は初期収束により局所解に陥りやすくなってしまう。このように、理想的なパラメータを求めることは、それほど容易ではない。また、初期世代において個体群内に均質な遺伝的組成が多い場合には、新しい個体を生成するために交差を行っても、新しい個体が生まれにくくなり、局所解にトラップされる可能性が高くなる。さらに、ある世代における個体群の中から次世代に生存する個体を選択する際に、個体間の適応度の差が小さいと増殖や淘汰が行われにくくなり、次世代においても同じような個体群が発生してし

まう。このような現象は遺伝的浮動 (Genetic Drift) と呼ばれるが、この状態に陥った場合には、進化の速度、すなわち収束速度が遅くなる。

本論文では、これらの問題点を踏まえて、計算の効率化および収束特性改善のためのいくつかの提案を行っている。

まず、初期状態として制約を満足する個体群を用意したとしても、遺伝的操作によって制約を満足しない (ループを含む) 個体が無視できない確率で発生することから、各個体に対応した電流経路 (パス) をあらかじめ探索することとし、その過程でループの発生をチェックする。さらに、過負荷や電圧降下などについても、パスを利用することで計算の効率化をはかっている。

また、GAのパラメータである交差率および突然変異率の決定方法として、個体群全体の適応度の平均値に基づいてそれぞれの値を動的に変更する手法 (Dynamic Parameters Modification: DPM) を提案している。この手法を用いることにより、適応度の平均値が比較的小さい初期の段階では、交差率、突然変異率とも大きな値となり、グローバルな探索が行われるが、世代が進むにつれて適応度の平均値が上昇し、それに伴って各パラメータの値が減少するので探索範囲が次第に狭められ、収束しやすくなる。

さらに、個体群の均質化と遺伝的浮動の問題に対して、各個体に年齢の概念を導入し、適応度による淘汰の他に寿命に達した場合にも淘汰を行う方法を提案している。最適解の候補であるエリート個体が寿命によって淘汰されないような工夫が必要であるが、適応度の低い個体は寿命によって早めに淘汰されることから、収束特性の向上が期待できる。

これらの手法の効果に関して、モデルシステムを用いたシミュレーションによって検討を行い、得られた結果に対して詳細な考察を加えている。

本論文の構成は、以下のとおりである。

第1章において、本研究の背景および特色、本論文の構成について述べている。

第2章では、本研究の対象である配電系統の特徴および問題点を明らかにするとともに、配電損失最小化問題の定式化を行う際の目的関数や制約条件などについて詳しく説明している。また、現在までに報告されている主要な研究例をとりあげ、そこで提案されている手法の概要を述べている。

第3章では、本研究で最適化手法として用いるGAに関して一般的な説明を行い、その特徴および問題点について述べている。まず、GAの重要な概念である遺伝子、コーディング、適応度、遺伝的操作などについて詳しく説明する。次に、具体的な計算のアルゴリズムを示している。

第4章では、GAを配電損失最小化問題へ適用するためのモデル化および計算上の工夫について述べている。まず、各個体に対応したパスの探索手法を提案する。また、GAにおける収束の判定条件として、エリート個体が集団中においてある割合を占めた場合を想定する妥当性について検討を行っている。さらに、GAにおける任意パラメータである交差率および突然変異率と解の収束特性との関係に関する検討を行い、適切な設定の重要性を示す。そのうえで、収束特性改善のための一方法として、ある程度世代が進んだ時点で交差率および突然変異率を減少させる手法を提案し、モデルシステムを用いたシミュレーションによって、その有効性を示す。

第5章では、配電損失最小化問題にGAを適用するにあたって、収束特性を改善するための手法を提案している。具体的には、前章の結果に基づき、パラメータを自動調整するための方法として、交差率および突然変異率を個体群全体の適応度の平均値に応じて動的に変更する手法 (DPM法) を提案している。さらに、DPM法と一定割合のエリート個体を保存する選択手法を組み合わせた試算例において、初期状態によらず比較的安定な収束特性が得られることを示す。

第6章では、GAにおける個体群の均質化と遺伝的浮動の問題に対して、各個体に年齢の概念を導入し、適応度による淘汰の他に、ある寿命に達した場合にも淘汰を行う手法を

提案している。この手法によって、適応度の低い個体はこれまでより早く淘汰されることとなるので、収束特性の向上が期待できる。

最後に、第7章では本論文で得られた新知見の取りまとめを行っている。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 長谷川 淳
副 査 教 授 嘉 数 侑 昇
副 査 教 授 佐 藤 義 治

学 位 論 文 題 名

配電損失最小化問題における 遺伝的アルゴリズムの適用に関する研究

電力は、需要に応じ、適切な品質と信頼度で、効率良く供給されなければならないが、電力輸送に伴う損失の相当部分は配電系統において発生している。そのため、適切な配電系統を構成することで損失の低減をはかることは極めて重要である。

一般に配電系統は、多くのループを含む形で接続可能な配電区間を両端の区分開閉器の適切な開閉によって放射状の系統構成とすることで運用している。したがって、配電損失を最小化できるような配電系統構成を決定する問題は、適切な区分開閉器開放位置の決定問題に帰着でき、組合せ最適化問題として定式化できる。この場合、系統規模によっては探索を必要とする組合せの数が膨大となり、厳密な最適解を得ることは難しくなる。またこれまでに提案されている近似解法の多くには、演算時間・精度などの面で難点がある。

本論文において著者は、この配電損失最小化問題にランダムサーチに基づく手法の一つである遺伝的アルゴリズムの適用を検討し、計算の効率化と収束特性改善のための幾つかの方策について詳細に論じ、その有効性を明らかにしている。

遺伝的アルゴリズムには多くの解決すべき課題がある。その一つは、任意パラメータである交差率および突然変異率の決め方である。適切な値を与えなければ、収束が遅くなったり誤収束に陥る危険性がある。また、初期世代の個体群内に均質な遺伝的組成の個体が多い場合には、遺伝的操作（交差など）を行っても新しい個体が生まれ難くなり、局所解にトラップされる可能性が高くなる。さらに、ある世代における個体群の中から次世代に生存する個体を選択する際に、個体間の適応度の差が小さいと増殖や淘汰が行われ難くなり、次世代においても同じような個体群が発生してしまう。このような現象は遺伝的浮動と呼ばれるが、この状態に陥った場合には、進化の速度、すなわち収束速度が遅くなる。

著者はまず、交差率および突然変異率の決定方法として、個体群全体の適応度の平均値に基づいて各々の値を動的に変更する手法を検討し、この手法を用いれば適応度の平均値が比較的小さい初期の段階では、交差率、突然変異率とも大きな値となり、グローバルな探索を行うのに対して、世代が進んで適応度の平均値が上昇すると、各パラメータの値は減少して探索範囲が狭められ、収束しやすくなることを明らかにしている。また著者は、個体群の均質化と遺伝的浮動の問題に対し、各個体に年齢を与えて、適応度による淘汰の他に寿命による淘汰をも行う方法を詳細に検討している。その結果、最適解の候補であるエリート個体が寿命によって淘汰されないようにする工夫が必要であるものの、適応度の

低い個体が寿命によってこれまでより早く淘汰されることから、収束特性の向上がはかれることを明らかにしている。

これを要するに、著者は、配電損失最小化問題における遺伝的アルゴリズムの有効性について新知見を与えており、電力系統工学の進歩に貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。