

学 位 論 文 題 名

遺伝的アルゴリズムによる
不確実性下の調達計画最適化の研究

学位論文内容の要旨

近年、パーソナルコンピュータや携帯電話など多くの製品でライフサイクルの短期化と価格の急激な下落が進んでいる。このため需要の不確実性に起因する機会損失、在庫の破棄損失、長期滞留部品在庫の逆輸などのリスクが高まっている。このような不確実性によって生じるリスクを適切に評価し、調達計画を最適化することが要望されている。

以上の背景のもと、本研究では供給計画や調達計画の最適化問題を、利益の確率分布の統計値を最適化する問題として定式化した。利益は (a) 現在の意思決定変数および、(b) 環境の不確実性を記述する確率変数、(c) 将来の意思決定を記述する確率変数の3種類のパラメータを持つ関数によって表わされる、確率変数をパラメータとして持つため利益も確率変数となる。この利益分布の統計値をリスクの指標として用い、調達計画を最適化する。また、本研究では将来の意思決定を記述する確率変数を環境の不確実性を記述する確率変数の値が確定することで定まる最大化問題の解としてモデル化した。

上述の問題に対する解法のフレームワークを考案し、フレームワーク実現のための技術の検討を行った。

(1) モンテカルロシミュレーションの導入と遺伝的アルゴリズム (GA) による最適化: ここで定式化した問題は目的関数の評価のために最適化問題を解く必要があり、また確率変数をパラメータに持つ。このため解析的に評価できず計算時間が長い。実務上の制約により限られた計算時間内での最適化を実現する必要がある。そこで問題の規模が大きくなっても計算コストが指数的に増加することがないモンテカルロシミュレーションを目的関数の評価に導入した。また目的関数の値だけで最適化を行うブラインドサーチの一種である遺伝的アルゴリズムを最適化に導入した。

(2) サンプル数の最適決定: モンテカルロシミュレーションは効率的であるが、それでも計算コストが大きい。できるだけ多くの点を探索するためには必要最小限の計算コストで目的値の評価を行う必要がある。GAは多点探索であるから、集団全体で見れば多数のサンプリングを行っているので、各個体で多サンプルによる高精度評価しなくてもよいと考えられる。そこでTakeover時間というGAの収束の指標をもとに、一定時間内での最適解への到達度が最も高くなるサンプル数を決定する方法を提案した。

(3) リンケージ同定とリンケージグループごとの交叉による効率的最適化: 大規模な問題

は、できるだけ問題を部分問題に分割し効率的に最適化する必要がある。しかし一般的に厳密に部分問題に分割できる場合は少ない。そこでパラメータ間の依存関係をもとに準分割を行うリンケージ同定を導入した。本研究で対象とする問題は変数が実数値を取るため、リンケージ同定にはバイナリーGAとは異なる困難さを持つ。そこで実数値GAのためのリンケージ同定手法を提案した。この手法で準分割した部分問題ごとに交叉を適用することで効率的な最適化を実現した。

提案する最適化手法を実際の調達計画問題の最適化に適用し、その有効性を確認した。実際の調達計画問題では、現在の意思決定変数が最適化対象である調達計画、環境の不確実性が需要や外国為替、将来の意思決定が追加調達の意思決定にあたる。最適なサンプル数の決定により必要最小限の計算コストでの目的値評価を実現し、この結果、限られた時間内での最適化が実現された。また、問題の規模が大きく難易度が高くなるほどリンケージ同定の有効性が高まることが確認された。提案手法により、実務上の制約によって限られた時間内で不確実性下の調達計画の最適化を実現した。

本研究ではTakeover時間をもとにした選択効率という指標を考案しこれを最大化するようにサンプル数を決定することで、一定の計算時間内で最適解への到達度を最大とした。この結果、従来考えられていたよりも大幅に少ない数が最適なサンプル数であることを示した。また、実数値GAのリンケージ同定とリンケージごとの交叉を考案し、これにより大規模で困難な問題の最適化を実現した。以上により、これまで計算時間の制約により最適化ができなかった問題の最適化を可能とした。また本研究の成果を用いることで、これまで試みられていなかった不確実性のある調達計画の最適化を実現した。

本論文は11章から構成される。第1章では本研究の背景および研究の目的について論じた。第2章では供給計画業務の概略および、従来から用いられている手法について論じた。続いて第3章でリスク評価とリスクの最適化について、主に金融の分野で用いられている手法を中心に論じた。第4章で供給計画や調達計画などの製造業の計画問題を定式化し、この問題の困難性について議論し、このような問題を解くための解法のフレームワークを提案した。第5章では、第4章で定式化した問題のうち、将来の意思決定を含まない比較的簡単な供給計画問題のリスク評価法を提案しその有効性を示した。続いて、第6章で遺伝的アルゴリズムにより供給計画を最適化した。第7章で、将来の意思決定を含む調達計画のリスク評価法を提案した。第8章で大規模な問題を解くための技術である実数値遺伝的アルゴリズムのリンケージ同定法を提案し従来の手法よりも効率よくリンケージを同定できることを数値実験により示した。第9章で推定誤差のある目的関数を最適化するための最適なサンプル数の決定法を提案し、数値実験によりその有効性を示した。第10章で、本研究で提案する解法のフレームワークを用い、第7章で述べた調達計画を最適化するシステムを構築した。実際の電子部品メーカーの調達計画データに適用し、限られた時間内で最適な解を立案できることを示した。第11章で以上を総括し、本研究をまとめるとともに、今後の課題について述べた。

学位論文審査の要旨

主査	教授	赤間	清
副査	教授	大内	東
副査	教授	水田	正弘
副査	助教授	棟朝	雅晴

学位論文題名

遺伝的アルゴリズムによる

不確実性下の調達計画最適化の研究

近年、多くの工業製品で、急速な技術革新に伴うライフサイクルの短期化、および調達と供給のグローバル化の進展による為替変動の影響などにより、需要の不確実性に起因するリスクが増大している。本研究では、不確実な状況における調達計画の最適化を許容される時間内で達成するための方法を生み出すべく、(1)効率的な調達計画最適化のための適切な問題の定式化とは何か、(2)それをどのような解法のフレームワークで扱うか、(3)どのような技術的課題があるか、(4)それらをどのように解決できるか、(5)どのようにシステムの構築を行うか、という観点から考察を進め、不確実性下の調達計画に関する新しい技術体系を提案している。

本研究では、現実の供給計画問題や調達計画問題の分析に基づき、それらを利益の確率分布の統計値を最適化する問題として定式化している。実際の調達計画問題において現在の意思決定はリスクを考慮した利益の最大化であるが、リスクと利益は、需要や外国為替などの環境の不確実性や、将来に行われる追加調達の意思決定の影響を受ける。そこで、本研究では、利益を現在の意思決定変数、環境の不確実性を記述する確率変数、および将来の意思決定を記述する変数の3種類の引数を持つ関数によって表わしている。引数に確率変数を含むために、利益も確率変数となる。リスクと利益を考慮するために、最適化の目的関数として、利益分布の統計値である分散やValue at Riskなどを採用している。

この定式化では、将来の意思決定を記述する変数が、環境の不確実性を記述する確率変数の値が確定するごとに定まる最大化問題の解として与えられている。これが最適化の計算量を増大させる要因の1つとなる。その他の要因は、問題の大規模性や複雑性で、最適化の目的関数を解析的に定めることができない。本論文ではこのような最適化問題の解法のフレームワークとして、モンテカルロシミュレーションによるリスク指標の評価、実数値遺伝的アルゴリズムのリンケージ同定による計算量の削減、および、一定の時間内で最適解への到達度が最大となるサンプル数の決定から構成される方法を提案している。

リンケージ同定は、最適化する変数の間の依存関係の強さを、解空間の局所的な構造から推定する方法である。変数の依存関係の強さにもとづき元問題を部分問題に準分割し、遺伝的アルゴリズムの交叉操作を部分問題ごとに適用することで、大規模問題の最適化を効率化する。本研究ではリンケージ同定の構造の洞察に基づき、実数値を染色体として持つ実数値遺伝的アルゴリズムに広範囲に適用できるように拡張している。

リスク指標の評価のためにモンテカルロシミュレーションによって複数のサンプルから目的値の推定を行う。その際、サンプル数を増やすことで、推定誤差を減らし評価精度を高くすることができるが、それに伴って計算コストが増大してしまう。そこで本研究では、Take-over時間という収束の指標を基礎にして、選択効率に関する新たな指標を提案し、この選択効率が最大となるようにサンプル数を決定することによって、一定時間内での最適解への到達度を最大化する技術を開発している。

本研究では、提案する最適化手法を実際の調達計画問題の最適化に適用し、その有効性を確認している。最適なサンプル数の決定により、必要最小限の計算コストでの目的値評価を実現し、この結果、限られた時間内での最適化が実現されている。また、問題の規模が大きく難易度が高くなるほど、リンケージ同定の有効性が高まることを確認している。提案手法は、実務上の制約を満たす時間内で、不確実性下の調達計画の最適化を実現することができることを示している。

これを要するに、著者は、内部に複数の最適化問題を含む不確実性下の大規模な最適化問題を効率的に解くシステム的设计に関する新知見を得たものであり、情報工学ならびにシステム工学に対して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。