

学 位 論 文 題 名

An Evolutionary Algorithm for Multi-criteria Nurse Scheduling Problem

(複数の評価項目基準を持つナーススケジューリング問題に
対する進化アルゴリズム)

学位論文内容の要旨

本論文は、複数の評価基準を持つナーススケジューリング問題に対する進化型アルゴリズムの提案とその評価を行ったものである。ナーススケジューリング問題 (Nurse Scheduling Problem, 以下NSP) とは、強い制約である病院側の要求を満足しつつ、定められた時間枠内に複数のナースの勤務スケジュールを作成していく問題である。その際、弱い制約である個々のナースの選好を可能な限り考慮しスケジューリングを行う。強い制約は必ず充足する必要があるが、弱い制約は必ずしも充足する必要はない。

NSPは多重制約性と多目的性の二つの特徴を持つ。多重制約性とは、様々な重要度を持ち互いに干渉し合う多くの制約条件を持つことをいう。要求される制約条件をすべて満足する制約充足解は存在しない可能性があるため、制約の重要度に応じた緩和措置が必要となる。多目的性は、互いに競合する複数の評価項目を持つことをいう。

本論文の構成を以下に示す。

第1章では、NSPの概要について述べている。ナーススケジュールの最適化を目的とした従来のアプローチに関して述べ、各アプローチの有効性に関する検証を行っている。一般に、NSPには2つの主要なアプローチ、すなわち、厳密解法と近似解法がある。厳密解法はナースの満足度の最大化とコストの最小化を実現する手段として、NSPに関する様々な論文で取り上げられている。しかし、病院毎の環境の差異やナースの多様な選好に対処すべき柔軟性に欠けるという指摘がある。一方、近似解法の代表としてはGAが挙げられる。GAに関する従来の研究では、計算量の削減や実行可能解の増加、解の質の向上などを行っている。しかしながら、これらの研究では一部の強制制約の充足すら保証していないため、現実のナーススケジュールに適応することは困難な場合が多い。

第2章では、NSPのモデル化戦略と定式化について述べている。初期スケジュールとして実行不可能なスケジュールを用いて探索を開始すると、実行可能解の発見が保証されないという問題点が挙げられる。そこで、実行可能なスケジュールの生成を保証するため、実行可能なスケジュールを用いて探索を開始し、実行可能な探索領域のみに限定して探索を行う戦略を採用している。この戦略の問題点に関しては、以後の章において詳しく述べら

れる。さらに、個々のナースの適応度を与え、全体の目的関数は全ナースの適合度に基づき構成している。また、札幌のある医療機関を対象として行った実際のナーススケジュールの調査結果に関しても述べている。

第3章では、標準的なGAの概要に関して述べている。ここでは、GAオペレータの動作とNSPに対するGAの適用について述べている。本研究においてGAを採用したのは、大規模な問題の解法としての実績を評価してのことである。しかし、GAは探索初期における局所的最適解への性急な収束を起こす危険性を有する。この問題に対処するため、GAオペレータの実験を行い、様々な検証を行っている。

第4章では、多目的最適化への進化的計算の理論的基礎とナースの意志決定プロセスにおける選好を取り扱う方法に関して紹介している。そして、意志決定プロセスにおいて、協調的遺伝的アルゴリズム(Co-operative Genetic Algorithm, 以下 CGA)の一試行後、パレート最適なスケジュールの集合をスケジュール作成者に提示し、若干異なる候補スケジュールの中から、作成者が望ましいスケジュールを選択する機会を与える著者独自の方法を提案している。

第5章では、NSPに対するCGAに基づくアルゴリズムの提案を行い、予備実験を行っている。提案するアルゴリズムは、常に病院側から必要とされるナースの数に関する制約を充足するようナーススケジュールを生成することを優先する。ナース間の協調を実現するための基本的なアイデアは、例えば、夜勤のような敬遠される勤務を可能な限り公平に分散することにある。目的関数は個々のナースの適応度平均を最大化し、かつ全てのナースの適応度分散を最小化するように構築される。予備実験の結果、主要な問題点は探索初期における局所的最適解への性急な収束であることが示唆される。

第6章では、予備実験において生じた問題点の解析を行い、CGAの探索効率向上を目的とする改善に関して詳しく述べている。強制制約の存在と実行可能な探索領域のみにおける探索は、局所的最適解への収束の原因となる。この問題を回避するために、予備実験において生じた問題の解析を行っている。そして、イスケープ・オペレータと呼ばれる、以下の内容を実現する新たなオペレータを提案している。

- i. 探索を局所的最適解から分散させる
- ii. 解空間において潜在的に探索されていない探索空間へ探索を方向付ける
- iii. 少ない計算量でイスケープ・オペレーションを実現することができる
- iv. 可能な限り大域的最適解へ接近した解を得る

また、シミュレーションにより、オペレータの有効性を検証している。

第7章では、本研究の成果に関する総括を行っている。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 大 内 東
副 査 教 授 大 森 隆 司
副 査 教 授 嘉 数 侑 昇
副 査 教 授 和 田 充 雄

学 位 論 文 題 名

An Evolutionary Algorithm for Multi-criteria Nurse Scheduling Problem

(複数の評価項目基準を持つナーススケジューリング問題に
対する進化アルゴリズム)

ナーススケジューリング問題(Nurse Scheduling Problem, 以下 NSP)とは一定期間における複数のナースの勤務スケジュールを一定の制約の下で作成する問題である。NSP は多重制約性と多目的性の二つの特徴を持つ。多重制約性とは、様々な重要度を持ち、互いに干渉し合う多くの制約条件を持つことをいう。要求される制約条件をすべて満足する制約充足解は存在しない可能性があるため、制約の重要度に応じた緩和措置が必要となる。多目的性は、互いに競合する複数の評価項目を持つことをいう。

本論文は、複数の評価基準を持つナーススケジューリング問題に対する進化型アルゴリズムの提案とその評価を行ったものである。その主要な結果は以下の点に要約される。

1. ナーススケジューリングの最適化を行う際の困難さに対する様々な従来アプローチを総括し、従来のアプローチでは、スケジューリング時における以下のような要求への対処が不十分であることを明らかにしている。
 - ・ スケジューリングにおいて生じる各病院あるいは各科の固有な制約を考慮できない
 - ・ ナースの様々な選好から生じる制約に対する要求に対応できない

これらは、実際のナーススケジューリングの立場から見ると無視できない重要な項目である。

2. 上述の問題点を改善するために以下の特徴を有するアルゴリズムの提案を行い、実験によりその有効性を確かめている。
 - i. 問題解決のためのアルゴリズムを構築するにあたって、常に病院側から必要とされるナースの数に関する制約を満たすようスケジュールを生成することを優先

している。

ii. 問題解決のために協調的遺伝的アルゴリズムを採用している。ナース間の協調を実現するための基本的なアイデアは、例えば、夜勤のような敬遠される勤務を可能な限り公平に分散することである。目的関数は個々のナースの適応度平均の最大化、かつ、全てのナースの適応度分散の最小化である。

iii. 探索初期における局所的最適解への性急な収束を回避するために、生成されたナーススケジューリングを解析し、協調的遺伝的アルゴリズムの最適なパフォーマンスを得ることを可能にする以下の効果を考慮したイスケープ・オペレータを提案している。

- 探索を局所的最適解から分散させる
 - 解空間において潜在的に探索されていない探索空間へ探索を方向付ける
 - 少ない計算量でイスケープ・オペレーションを実現することができる
 - 可能な限り大域的最適解へ接近した解を得る
3. 意思決定プロセスの観点から、探索終了後の対話的ナーススケジュール改定オプション機能を付加している。この機能は協調的遺伝的アルゴリズムによる探索が完了した後で、一つのスケジュールを示す代わりに、得られた全てのパレート最適なスケジュールを意思決定者に提示することにより、意思決定者が若干異なるいくつかの候補スケジュールの中から望ましいスケジュールを選択することを可能にしている。

これを要するに、著者は、複数の評価項目基準を持つナーススケジューリング問題のモデル化と、進化型アルゴリズムに基づいた有効な解法を開発し、その諸特性の分析を通して、組合せ的複雑系の最適化問題の研究において新知見を得たものであり、システム情報工学、および複雑系工学の進歩に寄与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。