



# RESEARCH ON AUTOMATIC GENERATION OF DISPATCHING RULES USING GENETIC PROGRAMMING FOR JOB SHOP SCHEDULING PROBLEMS

SHADY AMGAD AHMED AHMED SALAMA

---

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

2022-09-25

(Date of Publication)

2023-09-01

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲第8466号

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/0100477892>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



(別紙様式3)

## 論文内容の要旨

氏 名 SHADY AMGAD AHMED AHMED SALAMA

専 攻 Department of systems science

論文題目 (外国語の場合は、その和訳を併記すること。)

RESEARCH ON AUTOMATIC GENERATION OF DISPATCHING RULES  
USING GENETIC PROGRAMMING FOR JOB SHOP SCHEDULING PROBLEMS

(ジョブショップスケジューリング問題に対する Genetic Programming を用いたデ  
ィスパッチングルールの自動生成に関する研究)

指導教員 Toshiya KAIHARA

This dissertation focuses on the automatic generation of high-quality dispatching rules in compact structures and low computational requirements using the Genetic Programming (GP) to solve static and dynamic Job Shop Scheduling Problems (JSSPs). Precisely, the main objective is to reduce the computational burden required by the GP algorithm to evolve high-quality dispatching rules for both static and dynamic JSSPs. Five approaches are proposed in this thesis to address the limitations of the conventional research. Two of these approaches are developed to generate scheduling rules for the static JSSPs, whereas the other three approaches deal with the dynamic JSSPs.

Regarding the static JSSPs, two main limitations have been reported in the literature. The first limitation is premature convergence caused by low diversity among GP individuals that leads to low solution quality, whereas the second one is the high computational costs of GP approaches due to significant growth in the size of generated rules without a tangible return in fitness values, known as the bloat effect. Consequently, a distance metric is introduced to measure the genotypic similarity between the GP individuals and the best-evolved rule in this thesis. The proposed metric overcomes the limitations of the current metrics by considering the interaction effect between nodes and their parents, does not require additional simulation runs, and gives higher priority to the nodes closest to the root node. The aim is to represent population diversity in a numerical format that can be optimized and thus improve the exploration ability of the GP algorithm by avoiding early convergence. Therefore, a multi-objective GP framework is proposed by integrating Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II (NSGA-II) with the GP algorithm to optimize three objectives simultaneously. The three considered objectives are diversity values estimated using the proposed metric, rule length, and solution quality. To assess the effectiveness of the proposed distance metric and multi-objective GP framework, two algorithms are developed and compared with three algorithms from the literature across ten static JSSP instances using makespan and mean tardiness as objective functions.

Experimental results show the effectiveness of the proposed methods in generating a diverse population of high-quality rules with smaller sizes in a shorter computational budget compared with the conventional methods.

Regarding the dynamic JSSPs, two major limitations have been reported in the literature. The first limitation is similar to the static problems which is the high computational time of the GP algorithm due to the bloat effect. In contrast to the static problems where benchmark instances are used for fitness assessment, a Discrete Event Simulation (DES) model is the most common approach for the dynamic JSSPs. Therefore, the second limitation is the high fitness evaluation costs to assess the fitness values of evolved rules using a DES model. In order to address the first limitation, this thesis proposes a feature selection approach to reduce the size of evolved rules. The proposed approach uses a probabilistic selection scheme to estimate the weight of given terminals instead of the binary discrimination usually used in conventional methods. In addition, the proposed approach does not require pilot GP runs as the conventional methods. Because it uses the evolutionary information collected from previous generations in estimating the weights of the terminals in the next generation in an online manner. The proposed approach (PGP) is compared with three GP algorithms and 30 manually-made rules from the literature under different job shop configurations and scheduling objectives, including total weighted tardiness, mean tardiness, and mean flow time. Experimentally obtained results demonstrate that the proposed approach outperforms the other conventional methods in generating more compact rules in a shorter computational time.

Gene Expression Programming (GEP) algorithm is a modified version of the tree-based GP algorithm to evolve dispatching rules using a fixed-linear representation that is less susceptible to the bloat effect. Therefore, this thesis modifies the feature selection approach proposed for the GP algorithm to be applicable to the GEP algorithm for the dynamic JSSPs. The aim is to evaluate the effect of imposing an additional constraint on the size of evolved rules in the case of the contained GP representation. The proposed approach adds two main points to the existing literature.

First, it is the first attempt to control the bloat effect for constrained GP representations in the literature on the automated design of scheduling rules. Second, it increases the likelihood of using the proposed approach in more complex manufacturing environments due to the significant reduction in training time. The proposed algorithm is compared with three algorithms from the literature using three objective functions namely total weighted tardiness, mean tardiness, and mean flow time. Experimental results confirm the ability of the proposed algorithm in evolving rules with smaller sizes in a shorter computational time without sacrificing performance. The weight of terminals across generations of the proposed algorithm is compared with the weights obtained using the PGP algorithm. Results demonstrate the ability of the proposed feature selection approach to identify the same set of critical terminals regardless of the evolutionary algorithm used.

Finally, a surrogate assisted GEP approach is introduced to reduce the time of expensive fitness assessments of dispatching rules generated for dynamic JSSPs. Reducing fitness assessment times significantly speeds up the most computationally demanding step of the GP algorithm. The proposed approach extends the conventional methods through three main contributions. First, it is the first attempt to use machine learning to abstract a DES model of DJSSPs. Second, it reduces fitness evaluation time without significantly affecting prediction accuracy. Third, it is independent of the structure of evolved rules, and thus it can be adopted with other hyper-heuristic approaches. Three surrogate models are developed by integrating the proposed approach with three simplified models from the literature. The proposed surrogates are compared with their counterparts from the literature using mean tardiness and mean flow time objective functions. Experimental results prove that the proposed surrogates have significantly lower computational costs with a neglectable loss in prediction accuracy across different training and testing scenarios.

It is verified that the proposed approaches significantly reduced the computational time of the GP algorithm to automatically evolve high-quality scheduling rules in compact structures compared to conventional methods.

In addition, the performance of the proposed approaches is evaluated under different job shop environments including static and dynamic instances using a combination of the most common scheduling objectives such as makespan, mean flow time, mean tardiness, and total weighted tardiness. The behaviour of the best-evolved rules for each objective function is also analysed and several useful insights are gained. Finally, experimental results demonstrate that the proposed approaches enhance the performance of various stages of the GP algorithm starting from representation, then selection, until fitness evaluations.

氏名	SHADY AMGAD AHMED AHMED SALAMA		
論文 題目	RESEARCH ON AUTOMATIC GENERATION OF DISPATCHING RULES USING GENETIC PROGRAMMING FOR JOB SHOP SCHEDULING PROBLEMS (ジョブショップスケジューリング問題に対する Genetic Programming を用いたディスパッチングルールの自動生成に関する研究)		
審査委員	区 分	職 名	氏 名
	主 査	教授	貝原 俊也
	副 査	教授	羅 志偉
	副 査	教授	玉置 久
	副 査	准教授	藤井 信忠
	副 査		
要 旨			
<p>本論文では、静的・動的ジョブショップスケジューリング問題 (JSSP) を解くために、コンパクトな構造で計算量の少ない高品質なディスパッチルールの、遺伝的プログラミング (GP) を用いて自動生成することに焦点を当てている。</p> <p>まず、静的な JSSP(SJSSP)に関しては、従来研究における2つの課題に着目している。まず一つ目は、GP 個体間の多様性が低いために起こる早期収束であり、二つ目は GP アプローチにおける高い計算コストである。そこで本論文では、GP 個体と最適進化ルールとの間の遺伝子型の類似度を測定するための距離指標を導入している。ここで提案する距離指標は、ノードとその親との間の相互作用効果を考慮し、シミュレーションの追加実行を必要とせず、ルートノードに最も近いノードに高い優先度を与えることにより、現在の指標の限界を克服している。この距離指標を用いて、母集団の多様性を最適化可能な数値形式で表現し、早期収束を回避することで GP アルゴリズムの探索能力を向上させることを試みている。ここでは、Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II (NSGA-II) を GP アルゴリズムに統合し、多様性、ルール長、解精度の3つの目的関数を同時に最適化する多目的 GP フレームワークを提案している。そして、提案する距離指標と多目的 GP フレームワークの有効性を評価するため、2種類のアルゴリズムを提案し、メイクスパンと平均遅れを評価パラメータとした10種類の静的 JSSP 問題にて、文献から得た3種類のアルゴリズムと比較をしている。その結果、提案手法は従来手法と比較し、より短い計算時間で、多様性のあるコンパクトで高品質なルールの母集団を生成できることが示されている。</p> <p>次に、動的な JSSP(DJSSP)に関しては、従来研究における2つの課題に着目している。その一つ目の課題は、静的問題と同様に、ブルート効果による GP アルゴリズムにかかる長い計算時間である。静的問題では、ベンチマーク問題を用いて適合度を評価するのに対し、動的な JSSP では、離散イベントシミュレーション (DES) モデルを用いるのが一般的である。したがって、DES モデルを用いて進化したルールの適合度値を評価す際、適合度評価コストが高くなることが第二の課題となる。そこで本論文では、まず一つ目の課題を解決するために、進化した規則のサイズを小さくするための特徴選択アプローチを提案する。提案手法は、従来手法で通常用いられる二値識別の代わりに、与えられた端末の重みを推定する確率的な選択スキームを用いる。また提案手法では、従来手法のように GP のパイロット実行を必要としない。これは、前世代から収集した進化情報を、次世代における端末の重みの推定にオンライン方式を利用するためである。提案手法 (PGP) を、異なるジョブショップ構成とスケジューリング評価基準のもとで、3種類の GP アルゴリズムと文献にある30の手動作成ルールと比較を行なっている。そして実験により、提案手法は他の従来手法よりも短い計算時間でよりコンパクトなルールが生成できることを示している。</p> <p>GEP (Gene Expression Programming) アルゴリズムは、木ベースの解表現を持つ GP アルゴリズムを改良し、肥大化の影響を受けにくい固定線形表現を用いてディスパッチルールの進化させるものである。そこで本論文では、GP アルゴリズムで提案された特徴選択手法を、動的 JSSP の GEP アルゴリズムに適用できるよう改良している。ここで提案するアプローチは、既存の方法に2つの特徴を付加するものである。一つ目は、制約付き GP 表現に対する肥大化効果を制御することである。二つ目は、学習時間の大幅な短縮により、複雑な製造環境において提案アプローチの適用可能性を高めるものである。計算機実験の結果、ここで提案する PGEP アルゴリズムが、性能を犠牲にすることなく、より短い計算時間でコンパクトなルールを生成する能力を持つことを確認している。そして、提案する特徴選択アプローチでは、使用する進化アルゴリズムに関わらず、ルールを構成する重要なターミナルセットを識別する能力があることを示している。</p>			

氏名	SHADY AMGAD AHMED AHMED SALAMA
<p>最後に、DJSSP のために生成されたディスパッチングルールの適合度評価時間を短縮するために、代理支援 GEP アプローチを導入する。ここでは、提案手法と文献にある 3 つの従来手法を統合し、3 種類の代理モデルを作成している。そして提案する代理モデルを、平均納期遅れと平均フロータイムについて、従来手法との比較実験を行っている。その結果、提案する代理モデルは、様々な学習・テストシナリオにおいて、予測精度をほとんど低下させることなく、計算コストを大幅に削減することを確認している。</p> <p>以上のように本研究は、今後の新たなものづくりシステムに重要な要素となるジョブショップスケジューリングについて高品質なディスパッチングルールの効率良く自動生成する方法論について研究したものであり、今後の IoT ベースのものづくりシステムにおける生産性向上に大きく貢献する内容である。よって、提出された論文はシステム情報学研究科学位論文評価基準を満たしており、学位申請者の SHADY AMGAD AHMED AHMED SALAMA は、博士（工学）の学位を得る資格があると認める。</p>	