論文翻訳　TEEE No.4

An improved adaptive NSGA-II for multi-objective comprehensive

scheduling problem of flexible assembly job shop problem with AGVs

AGVのFAJSPにおける多目的包括的計画問題のための改良適応型NSGA-II

【概要】

Intelligent manufacturingは、世界規模の経済発展の現状によって、アカデミアやビジネスから多くの関心を集めている。工業ビジネスの2つの必須な要素は生産と交通である。しかし、伝統的な生産と交通の計画管理は独立になされており、システムの操作効率を下げている。地理的に工業施設の間の協調的な生産計画は、生産注文の配送顧客のための輸送を通して、分散している。計画手法は、リクエストに答えるために必要な分だけ、限られたリソースを使う。これを解くには、メタヒューリスティクスのハイブリッドである、多目的関数に基づくHPWL-IMEをされている、異なる生産と交通の元での協調計画問題に対処するために。

Particle(P) swarm optimization, Whale(W) optimization algorithm associated with Local(L) neighborhood search。これは資源最適効率を達成するために工夫する、注文生産のマシーン指令をアレンジすることで、生産時間の最小化をして。PSOのアプローチは、解空間を効率的に探索し、ポテンシャルがある生産計画や交通経路を特定するのを目指す。The whale optimization algorithmは、効果増加のための解を特定するために、探索の多様化と集中化のバランス点を探す。それは、機械のアクセス可能性や処理時間、より早期な顧客需要などのいくつかの計画の制約を考慮している。

よって、実装したHPWL-IMEアプローチは、顧客の配送納期を改善させる。最適な交通時間、最短の生産発注のメイクスパン、Average Relative Deviation Index (ARDI)、Earliest Due Date Assignment (EDDA) rule、生産と交通の効果的な活用のためのスケジューリング制約付きの全ての目的関数を達成する、を確保することで。

【1章 導入】

Flexible Job Shop Scheduling Problem (FJSP), as an extension of the Job Shop Scheduling Problem (JSP), enhances the flexibility of machine selection, thereby improving the flexibility of job processing. This makes the scheduling model more aligned with actual production needs, rendering it a more challenging NP-hard problem compared to JSP [1]. The Flexible Assembly Job Shop Scheduling Problem (FAJSP) extends FJSP by considering the assembly constraints of product components. Optimizing the coordination between production processes and assembly processes is crucial in addressing the Flexible Assembly Shop Scheduling Problem.

フレキシブル・ジョブショップ・スケジューリング問題(FJSP)は、ジョブショップ・スケジューリング問題(JSP)の拡張として、機械選択の柔軟性を高め、ジョブ処理の柔軟性を向上させる。これにより、スケジューリングモデルは実際の生産ニーズにより合致したものとなり、JSPと比較してより困難なNP困難問題となる[1]。フレキシブル組立ジョブショップスケジューリング問題(FAJSP)は、製品部品の組立制約を考慮することによりFJSPを拡張したものである。生産工程と組立工程の間の調整を最適化することは、フレキシブル組立工程スケジューリング問題に取り組む上で極めて重要である。

In recent years, many researchers have studied extensions of the FAJSP to make it more like a real production system and have made great progress. Li Zihui et al. [2] proposed a hybrid distribution estimation algorithm to solve the Flexible Assembly Flow Shop Scheduling Problem with different processes, yielding promising results. Yang Xiaojia et al. [3] established a mathematical model for flexible assembly shop problem with stochastic disturbances, adopting dynamic scheduling strategies. They designed a genetic algorithm-based periodic rolling scheduling method to solve the model, demonstrating the superiority of the algorithm through extensive experiments. Wu et al. [4] conducted research on distributed flexible assembly shop, aiming to minimize both delay time and total cost through cooperative optimization. They proposed an improved differential evolution simulated annealing algorithm to solve the model. Zhang et al. [5] focused on preventive maintenance in assembly line scheduling, using completion time and maintenance time as optimization objectives. They proposed two heuristic algorithms and combined them with iterative greedy algorithms to solve the problem, validating the effectiveness of the algorithms. Ren et al. [6] proposed a heuristic algorithm combining particle swarm optimization and genetic algorithm to jointly optimize the production efficiency and energy consumption of flexible assembly shop.

近年、多くの研究者がFAJSPをより実際の生産システムに近づけるための拡張を研究し、大きな進歩を遂げている。

While most studies consider the processing of jobs on machines, they often overlook the transportation of jobs between machines. With modern manufacturing transitioning towards intelligence, the movement of jobs between machines is predominantly handled by Automatic Guided Vehicles (AGVs). AGVs play a crucial role in the integrated scheduling and coordinated optimization of processing equipment and transportation resources in smart manufacturing systems. Hence, the integration of AGV scheduling with the FAJSP holds significant practical value in enhancing the efficiency of intelligent manufacturing systems.

多くの研究は、機械上でのジョブの処理を考慮する一方で、機械間のジョブの輸送を見落としていることが多い。インテリジェント化が進む現代の製造業では、機械間のジョブの移動は主に無人搬送車（AGV）によって処理される。AGVは、スマート製造システムにおける処理装置と輸送リソースの統合スケジューリングと協調最適化において、重要な役割を果たす。従って、AGVスケジューリングとFAJSPの統合は、インテリジェント製造システムの効率を高める上で重要な実用的価値を持つ。

Currently, there is limited research on the FAJSP with the involvement of AGVs, and there is no established benchmark dataset available. Most studies have focused on FJSP with AGV scheduling, assembly line scheduling, and distributed flow shop scheduling. The research objectives mainly revolve around four aspects: machine allocation, operation scheduling, AGV scheduling and allocation, and AGV path planning.

現在、AGVを含むFAJSPに関する研究は限られており、確立されたベンチマークデータセットもない。ほとんどの研究は、AGVスケジューリング、組立ラインスケジューリング、分散フローショップスケジューリングを含むFJSPに焦点を当てている。研究目的は主に、機械割当て、作業スケジューリング、AGVスケジューリングと割当て、AGV経路計画という4つの側面に集中している。

Rahman et al. [7] proposed a heuristic and meta-heuristic combined optimization approach for the assembly line balancing and AGV scheduling problem in the context of Industry 4.0. Through computational experiments, this method effectively reduced the cycle time and total delay of the assembly system, providing empirical support for the efficiency optimization of intelligent assembly systems.

Rahmanら[7]は、インダストリー4.0の文脈における組立ラインのバランシングとAGVスケジューリング問題に対して、ヒューリスティックとメタヒューリスティックを組み合わせた最適化アプローチを提案した。計算実験を通じて、この手法は、組立システムのサイクルタイムと総遅延を効果的に削減し、インテリジェント組立システムの効率最適化の実証的な裏付けを提供した。

In the research on AGV scheduling in unbuffered assembly lines, Wang et al. [8] proposed a forward-looking scheduling strategy based on genetic algorithms by establishing a Petri net model. They effectively addressed the issue of processing sequence conflicts. Through simulation and robotic experiments, they demonstrated its effectiveness in reducing total processing time and improving the efficiency of AGVs and machines.

バッファリングされていない組立ラインにおける無人搬送車のスケジューリングに関する研究において、Wangら[8]は、ペトリネットモデルを確立することにより、遺伝的アルゴリズムに基づく将来を見据えたスケジューリング戦略を提案した。彼らは、処理順序の競合の問題に効果的に対処した。シミュレーションとロボット実験を通して、彼らは、総処理時間を短縮し、AGVと機械の効率を向上させる有効性を実証した。

Karimi et al. [9] aimed to minimize the maximum completion time and established two mixed-integer linear programming models based on sequences and positions for the FJSP considering transportation time. Experimental results indicated the superiority of the sequence-based model. Dai et al. [10] studied the FJSP considering transportation time with objectives of minimizing the maximum completion time and total energy consumption. They transformed the bi-objective problem into a single-objective one using a weighted sum method and designed an improved genetic algorithm for solving it, revealing conflicting relationships between the two objectives. Peng et al. [11] investigated the FJSP with transportation time constraints, aiming to minimize processing energy consumption. They proposed a hybrid discrete multiobjective imperialist competitive algorithm for solving the problem and validated the effectiveness of the proposed algorithm through comparisons with other algorithms. Zhou et al. [12] conducted research on the FJSP considering crane transportation and devised a hybrid algorithm based on decomposed multi-objective evolutionary algorithm and particle swarm optimization to minimize the makespan and total energy consumption. Homayouni et al. [13] studied the FJSP considering transportation time with the objective of minimizing the makespan. They designed an operation based multi-start biased random key genetic algorithm to solve the problem, demonstrating its effectiveness in addressing similar workshop scheduling problem. Yan et al. [14] established a model for finite transportation conditions in flexible job shop environments and designed an improved genetic algorithm for solving it by discussing the constraints imposed by finite transportation conditions.

[13]は、各ステージに並列機を持つハイブリッドフローショップスケジューリングの課題に取り組み、人的要因を考慮しながら、メイクスパンと全体のフロー時間の加重和を削減した。ここでの限界は、メイクスパンの加重平均であり、全体のフロー時間は、この研究で使用された唯一のパフォーマンス指標である。[14]では、連続処理の利点を考慮しながら、生産過程にわたって同じ種類のオーダーの選択を結合する効果的なオーダー結合アプローチを分析している。[15]では、新興国の中小企業がインテリジェント・インダストリー・バージョン4.0に関連する最先端技術を利用する準備がどの程度できているかについて徹底的な分析を行っている。

The job shop scheduling problems are all static scheduling problems, without considering various uncertainties in actual production. The reality is that most situations faced by enterprises involve more complex dynamic scheduling problems, where there may be machine breakdowns, urgent rush orders, early deliveries, and other unexpected issues. Cao et al. [15] proposed an adaptive heterogeneous earliest finish time algorithm to address the objective of minimizing the makespan in the FJSP with arrival orders. Ozturk et al. [16] combined genetic programming with gene expression programming to propose two methods for the DFJSP. Hu et al. [17] introduced a novel Petri net-based dynamic scheduling approach, utilizing deep Q-network (DQN) and graph convolutional networks to solve dynamic scheduling problems in flexible manufacturing systems. We compare the existing papers with our work in the following Table 1.

ジョブショップのスケジューリング問題は、すべて静的なスケジューリング問題であり、実際の生産における様々な不確実性を考慮しない。現実には、企業が直面するほとんどの状況は、より複雑な動的スケジューリング問題を含んでおり、機械の故障、急ぎの注文、早期の納品、その他の予期せぬ問題が発生する可能性がある。Caoら[15]は、到着オーダを伴うFJSPにおけるメークスパンを最小化するという目的に対処するために、適応的異種最早終了時間アルゴリズムを提案した。Ozturkら[16]は遺伝的プログラミングと遺伝子発現プログラミングを組み合わせ、DFJSPのための2つの手法を提案した。Huら[17]は、フレキシブル製造システムにおける動的スケジューリング問題を解決するために、ディープQネットワーク（DQN）とグラフ畳み込みネットワークを利用した、新しいペトリネットベースの動的スケジューリングアプローチを紹介した。以下の表1で既存の論文と我々の研究を比較する。

In this study, a model of FAJSP with AGVs (FAJSP-AGVs) was established, and an improved adaptive NSGA-II [18] algorithm was proposed to optimize efficiency and green indicators. The main contributions of this paper include the following aspects: (1) A mathematical model for FAJSP-AGVs was established, with three objectives: minimizing the makespan, total machine energy consumption, and AGV working time. (2) An improved adaptive NSGA-II algorithm was proposed to optimize FAJSP-AGVs. (3) Specialized encoding methods, adaptive crossover, and adaptive mutation operators were designed. (4) A variable neighborhood search strategy was integrated to avoid local optima. (5) Practical scenarios were considered, and a dynamic scheduling strategy for machine failures was proposed and validated.

本研究では、AGVを用いたFAJSP（FAJSP-AGV）のモデルを確立し、改良型適応NSGA-II [18]アルゴリズムを提案した。(1)FAJSP-AGVの数学モデルを確立し、3つの目的(メークスパンの最小化、機械エネルギー消費量の最小化、AGV作業時間の最小化)を設定した。(2) FAJSP-AGVを最適化するための改良型適応NSGA-IIアルゴリズムを提案した。(3) 特殊な符号化法、適応的クロスオーバー、適応的ミューテーション演算子を設計した。(4)局所最適を回避するために可変近傍探索戦略を統合した。(5)実用的なシナリオを考慮し、機械故障に対する動的スケジューリング戦略を提案し、検証した。

【2. Relevant literature survey】

Xiongら[20]は、生産と交通のためのDTベースの協調スケジューリング技術(DTCST)を使うことを提案した。生産、配送、調達の3フェーズの協調スケジューリングモデルは、柔軟なジョブショップ製造環境内の交通で求められる時間を最小化するために構築された。強化されたGAがそのモデルを解くのに使われている、解のエンコードデコードされた情報を扱う、動的なインターフェースを扱うのに有用なDTベースのモデルで、重要な需要の入り時間と実世界で設定されるような実際の観察時間のような。成果は、協調スケジューリング技術がこのシナリオ研究と実験結果を通して有益であることを示している。

Liuら[22]は、生産と輸送ルーティングのスケジューリングにおいて、全体のオーダーのバランス納期を短縮することを考慮に入れており、そのために、拡張大規模近傍探索(ELNSs)アプローチを用いて、両者の相互作用を考慮に入れて共同化することを提案している。初期解は二段階の手続きで生成され、最初に車のルートを確立し、そのルートを使って、最適な生産順序を特定するために、ヒューリスティックの挿入と削除のための特定のルールが使用されます。計算結果は、提案するELNS法がGA（Genetic Algorithm）を凌駕し、初期解を約50秒大幅に改善することを示している。主な欠点は、この統合解の下限制約と上限制約を考慮していないことである。

Luら[23]は、Hybridized Multi-verse Optimizer-Variable NS (HMOVNS)アルゴリズムを開発した。ファジイ計算と過去シーケンスに依存する配達時間付きの強い並行バッチスケジューリング問題の研究的な課題に素早く対処するために。単一機械スケジューリングは、インテリジェント製造プロセスにおける対応する企業課題の構造的特性で最適化される。この実装で、このハイブリッドメタヒューリスティクスは、様々な研究において、良い結果、ロバストネス、計算時間性能を示す。

この結果は、平均の計算時間が0.561秒で、最小の標準偏差が2.51%、相対割合偏差が6.461であることを示している。本研究の不足は、様々な問題状況や産業的文脈に対するアプローチの一般性を決定することである。

前述の文献レビューから明らかなように、メタヒューリスティクスは、企業生産における自明でない困難な状況を処理する能力を向上させてきた。

さらに、HPWL-IMEは、DTCST、ELNSs、HMOVNSのような他のヒューリスティクスと比較した場合、SA、GA、CWOT、ACOのような他の手法を様々な性能指標で上回った。様々な協調アプローチによる生産と輸送のスケジューリングモジュールは、最適化アルゴリズムによるインテリジェントな製造プロセスのために分析されたバランスの取れた最適化された技術を使用している。

intelligent manufacturingシナリオでは、目標は生産過程と交通の両方の期間を考慮しながら、全体のメイクスパンを減らせることだろう。目標は、全体を最小化し、マシーンμとルート交通のコンビネーションと関係した、Tを求めること。

【3. Implementation of the Proposed technique】

限られた資源の中で、共同スケジューリングという課題は、一般的に顧客対応時間を優先し、物流コストを削減しながら顧客サービスを向上させる。資源をより効果的に活用し、共に意思決定を行うことで企業の対応時間を早めることは、スマート・マニュファクチャリングの2つのメリットである。製造企業のグローバル化は、低遅延要件を確保するための調整スケジューリング技術の欠如を含め、intelligent manufacturingに多くのハードルをもたらしたが、製造最適化の問題は複雑な生産システムで頻繁に発生する。ヒューリスティックと呼ばれる手法によって任意に作成されたシーケンスは、メタヒューリスティックに基づく手法の出発点であり、停止要件が満たされるまで繰り返される。これらのメタヒューリスティック・アルゴリズムのハイブリッド化された組み合わせは、様々なプロセス、機械、人間、その他のリソースの相互関連関係や相互作用を考慮することにより、生産プロセス全体の有効性、生産性、適応性を高める。スケジューリングシステムは、動的な状況において優れた性能を発揮する群知能アルゴリズムのおかげで、生産状況、設備の稼働率、クライアントの要求の変化に対してリアルタイムで調整することができる。この柔軟性は、intelligent manufacturingの環境において、生産リードタイムを短縮し、顧客対応力を向上させる。企業は、ロジスティクス活動を組織的に計画し実行するために作成された科学的技術やソフトウェアを採用しなければならない。これらの技術やプログラムは、輸送業務の有効性と効率を改善し、管理者に大きな利益をもたらす。生産スケジュールの最適化、納期遵守の強化、全体的な製造効率の向上はすべて、インテリジェント製造アプローチにEDDAを加えることによって促進される。

図1に示すように、あらゆる選択肢の中で、企業の生産活動管理とコラボレーションを調整することが重要である。包括的な理解と相互作用は、コラボレーションを成功させるための基礎となる。製造業では、センサーやIoTデバイスが、輸送や生産手順の監視や可視化に頻繁に活用されている。新しい通信技術は、共同生産エンティティ間のより効果的でオンデマンドな相互作用を可能にする。問題を解くためにハイブリッド化されたPSOアルゴリズムを実行することにより、可能性の出発点である初期母集団が発見される。これらの解は、潜在的な生産スケジュールと輸送ルートを示している。PSO集団の最適解は、PSOアルゴリズムがラウンドを完了した後、WOAアルゴリズムの開始集団として使用される。この初期母集団を出発点として、WOAアルゴリズムはさらに探索と利用を行い、解を研ぎ澄まし、強化する。

【3.1 生産段階】

機械によって一定の生産率Ψで処理されているオーダーが終了するまでの初期制約に焦点を当てた。マシンは、顧客数を表すCで与えられた新しいリクエストをすることはできない。タスクはマシン間で重複するため、より速く完了することはできず、各変数は、配送中にスケジュールされたタスクの輸送目的で使用される後続のマシンごとに同じである。

生産段階計画の決定変数を下記に示す：

各生産タスクTの開始時刻をt、時間内の各生産タスクを特定のリソースに割り当てることを企業ではマシンμと呼ぶ。

スケジューリング制約：

企業の全体的な生産段階における各生産タスクは、特定の制約条件と特定の重みを与えられており、Tは式1を使用して処理時間tpの順序が計算されます。

製造環境と輸送段階における機械の資源制約が制約形式として与えられる：

各マシンについて、特定のマシンに割り当てられたタスクのtpの総和tp∈μ≦α、ここでマシンの総容量はαとして与えられる。同様に、特定の経路γの輸送時間の合計は、輸送経路βの総容量（capacity）を超えてはならず、𝛾∈T≤βと与えられる。インテリジェントな製造環境における生産タスクの完了には、通常、複数のマシンを使用する必要があります。各システムの作業あたりの平均時間は、企業生産では異なる。メイクスパンとは、生産シフトに必要なすべての作業を実行するのに必要な全時間である。所要時間を短縮する作業の順序を見つけることが、メイクスパン計算の目的である。最初の目的は、各生産ジョブが最大負荷αで1台の機械にスケジューリングされるという制約を確認しながら、メイクスパンを最小化することである。

【3.2 交通計画】

顧客の需要に基づく決定変数や変更オーダーに対応するために、輸送スケジュールを迅速に決定し、修正することが可能である。生産単位のC\_D。各生産タスクの配送先dへの輸送経路γ={γ\_1, γ\_2, ..., γ\_d}の形で与えられる。顧客やエンドユーザーは、地理的に様々な場所に存在する可能性があるため、各生産タスクの納期や輸送時間は、与えられた制約に基づいて変化する可能性がある。輸送時間t\_abは、ある顧客aから別の顧客bへの配送、またはある企業店舗からある顧客への配送を表し、特定のルートにおける輸送時間内のt\_ab, gamma\_dとして表すことができる。製品の納期が早いことは、製品要求の処理にe\_dの重要な重みとして与えられ、同様に製品の納期が遅いことは、各輸送にLとして特定の重みが与えられる。製品配送の輸送に使用される車両は、delta={1 2 ...V}として表される出発時刻と呼ばれる時刻に企業を出発し、同じ車両は1ラウンドで多くの顧客からの注文を配送することができる。

2つ目の研究アイデアは、車両デルタのようなリソースを、可能な限り効率的かつ効果的に物流や配送tのような生産スケジューリング活動にスケジューリングして割り当てることである。各車両vは顧客cによって指定された時間に各顧客との接続を確立する必要があり、物流企業がインテリジェント製造環境における輸送オペレーションにおける唯一のサプライヤーであると仮定する時間窓の制限にも焦点を当てている。注文数に応じて、企業は顧客に商品を配送する。以上のようなパターンを実現するために、この企業の輸送スケジューリングにおける目的は、配送の全体的な重み付けタイミングを減らすことである、 このためには、車両の出発タイミングを同期させ、車両が企業からエンドユーザーへの生産配送に要する時間を考慮し、企業から顧客へ生産資材を分配する輸送コストを削減した上で、様々な注文の固有の重みまたは優先順位を考慮する必要がある。式4を使ってパラメータを更新したスケジューリング制約：

上記の式5と式6は、顧客𝑎から𝑏へのVを使用した注文O\_rの配送状況が順次順序に従うことを述べている。これは、顧客から発注された各注文が、生産段階における1つ前と後の配送手順に従わなければならないことを意味する。

【3.3 改良方法におけるPSO-WOA-based LNSハイブリッドメタヒューリスティクス実装】

【3.4 生産発注シーケンスの計算のための疑似コード】

【4. 実験検証】

本節では、提案手法の最小メトリックスパン、削減されたARDI、輸送時間、およびEDDLメトリックスを用いた比較分析結果を示す。様々な輸送ルートを用いて、生産タスクの数と顧客への配送時間を変化させた。企業調査に関連するデータソースは、[27]から選択されたパフォーマンスメトリクスの結果を得るために、複数のインテリジェント製造環境から分析される。ここで、入力属性には、顧客のサイズ、機械数、またはダー数、顧客の優先順位、顧客に到達するまでの輸送時間、および企業バックが含まれる。この比較分析では、提案するHPWL-IME手法とともに、DTCST[20]、ELNSs[22]、HMOVNS[23]の手法を用いる。

【4.1 様々なスケジューリング制約付きの目的関数の達成を特定する】

図4は、IMEにおける効率的な生産と輸送の協調スケジューリング制約のために取られる目的関数の数を示した図である。横軸は、目的関数に到達するために必要なスケジューリング制約を示す。

多目的関数は、生産と輸送について式1と4を使用して精緻化される。したがって、提案アルゴリズムは、複雑な環境生産・輸送問題において、目的基準を満たすためのメタヒューリスティック最適化アプローチに従っている。

【4.2 スケジューリングアルゴリズムのための平均相対偏差指標RDI】

図5に示すように、平均相対偏差指数は0から1の範囲で、粒子群最適化手法の入力からランダム集団を識別し、輸送速度の最大速度を持つ粒子が最も優先順位の高い顧客に最初に到達するための最適解を見つける。

式7から、変数Cは製造スケジューリング関連基準における最大反復回数の総観測値を表し、Estは実際の製造スパン値を表し、Objは比較に使用されたN個のアルゴリズム全てから観測された製造スパン値を表す。

【4.3 生産タスクの増加数のメイクスパンの計算】

図6に示されているように、メークスパンの計算は、[28]から引用された生産タスクカウントの必要な入力スケジューリング制約と与えられた目的関数から特定されます。Dと早期の完了時間は、オーダ順序の配置にかかるTに追加される。最初の目的関数からのメー クスパンの計算は、与えられた生産オーダーを最小の期間で完了させるために、μからの機械のランダムサンプリング選択で達成された。提案アルゴリズムは、生産工程を完了させるのに費やされる時間を最小にすることで、既存の全てのアプローチを凌駕する。

【4.4 Earliest Due Date Assignment (EDDA) rule】

【4.5 輸送時間】

【5. 結論】

単純な技術はもはや顧客の需要を満たすのに十分でないため、デジタル企業はintelligent manufacturingを必要とする。

提案のHPWL-IMEアプローチは、各手法の長所を活用することで、効率的かつ公平に生産計画と交通経路を最適化する。

このハイブリッドな技術は、解空間を効率的に探索し、全体効果を改善可能な、実行可能な経路とタイムテーブルを求めるのを可能にする。

局所的探索と大域的探索のバランスはより効率性の高い解に改善する。

異なる目的と制約は顧客の要求と生産時間の削減を満たすのを考慮される必要がある。

統合されたメタヒューリスティクスの利益は、より良い配達コミットメント、より短い工業メイクスパン、より効率的な交通時間で結果を出すことだ。

この方法は、柔軟で賢く、グリーンな工業プロセスを実装するのに、アカデミックな重要性と有益性の両方を提供することで、世界的経済が早く変わる中でビジネスのための計画、などの技術において相当な改善を提供する。

この提案された研究で直面した限界は、スケジューリング問題の複数の目的(タイムスパン、配達重量付きの交通時間、最小相対差の最小化)をすべて同時に満たす最良のアプローチがないことである。

将来的には、多目的最適化のNon-determined sortingや選択技術は、解空間における多様性を維持することや意思決定者によくバランスがとれた選択肢の選択自由度を与えるために適用されるだろう。それは企業目標や決定する計画の制約に合致している。