

物流倉庫業務のスループット向上のための複数工程全体最適化技術

Multi-process total optimization technology to improve the throughput of logistics warehouse operations

中川香織†
Kaori Nakagawa小林雄一†
Yuichi Kobayashi賀沢唯†
Yui Kazawa石井大介†
Daisuke Ishii工藤文也†
Fumiya Kudo相菌敏子†
Toshiko Aizono佐藤達広†
Tatsuhiko Sato難波康晴†
Yasuharu Namba

1. 背景と課題

昨今の電子商取引市場の成長[1]や宅配便取扱量の増加[2]などにより物流倉庫業務の増大が問題となっている。加えて、少子高齢化による労働力不足あるいは働き方改革によって業務効率化のニーズが高まった結果、物流倉庫業務の高度システム化が進んでいる。

物流倉庫業務の効率化に関する既存研究は多数ある。例えば効率的なピッキング順序を決定する技術(e.g., [3])や、倉庫で保管する物品のレイアウト最適化を行う技術(e.g., [4])などである。これら従来技術の多くは物流倉庫業務のうち、ある特定業務の効率化を目指したものである。

物流倉庫業務の効率化における課題として、第一に、上記従来技術のように限られた工程のみ効率化しても、物流倉庫業務全体が効率化されるとは限らないことである。物流倉庫業務は商品入荷から始まり、格納、出荷指示を受けた物品のピッキング、仕分け、梱包、出荷など多数の工程から成る。ある工程で効率化した結果、他工程にとって非効率な影響を及ぼすこともある。第二に、ある一つの物流倉庫で複数のベンダのマテハン機器が導入されている場合、ベンダの異なるマテハン機器との間では情報のやり取りが困難な場合が多く、全工程の効率化を図ることが難しい。第三に、現場で人が作業する場合各人が持つノウハウや癖やミスなどで計画通りに業務履行されず、効率が落ちることがある。

2. 物流倉庫全体最適化

本研究では、上記課題を解決する業務計画を出力する技術「全体最適制御機能」を開発した。ここで業務計画とは工程における商品の処理順序を示したものである。

全体最適制御機能では、物流倉庫業務の各工程単位にみた場合の作業の効率性はどれかに偏ることなく保持しながら、対象全工程を通して効率的な計画を作成する。ここで、本研究で用いる「効率的」とは、物流倉庫業務の効率を計る KPI のひとつであるスループット、すなわち単位時間あたりの商品処理件数を向上させるものである。更に、全体最適制御機能はスループットが良い計画のうち、計画で示した処理順序と実際に扱った処理順序に差異があってもスループットをそれほど低下させない(以下この性質をロバスト性と呼ぶ)計画を採用する。全体最適制御機能ではこのような方法で複数工程全体で高スループットかつロバスト性をもつ計画(全体最適計画)を作成する。

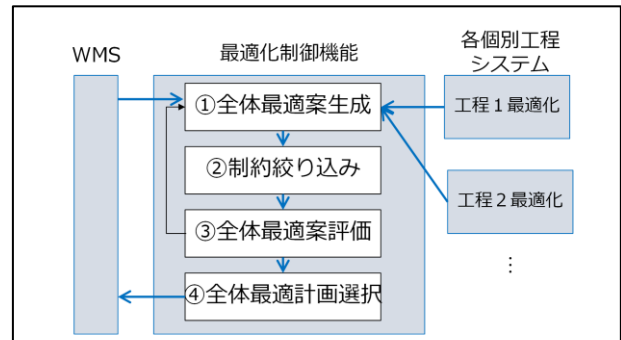


図1: 全体最適制御機能 処理ブロック図

2.1. 機能の流れ

全体最適制御機能の処理ブロック図を図1に示す。各工程の業務情報を集約・計算して一つの最適解を求める通常の全体最適(例えば多目的最適)と違い、本技術は、各工程の最適解を集め、それらが保持する特徴をできるだけ反映した形で全体最適解を組み立てる点である。以下に各処理内容を説明する。なお、ここで、各工程の解の特徴を反映するために①～③では遺伝的アルゴリズムを用いる。これにより全体最適案作成と評価を設定された回数繰り返す。

①全体最適案作成: 物流倉庫既存の WMS(Warehouse Management System)から出荷する商品 ID 一覧が送付され全体最適制御機能が起動する。初めにこの商品 ID 一覧を既存の各個別工程システムに送付し、各個別工程の最適な処理順序を受け取る。全体最適制御機能が起動して初回の①の処理では、各個別工程最適順序を親とし全体最適案(子)を複数作成する。2回目以降の①の処理では下記③全体最適案評価で「親全体最適案」と定義された全体最適案を親として新たに全体最適案を複数作成する。

②制約絞り込み: 業務制約条件があれば、全体最適案のうち制約条件を満足していないものを削除する。

③全体最適案評価: 先述の課題を解決するための主要機能である。あらかじめ定義された評価ロジックを用いて全体最適案の評価値を算出する。評価ロジックについては下記2.2.で説明する。これまで作成した全体最適案のうち評価の高い複数の全体最適案を「親全体最適案」と定義する。

④全体最適計画選択: 一番高評価の全体最適案を全体最適計画と決定し、WMSに送付し現場で実行する。

2.2. 評価ロジック

③全体最適案評価機能で用いられる評価ロジックについて説明する。複数工程全体に渡って高スループットとなる

† (株)日立製作所 Hitachi, Ltd.

* MSS(Multi Suttle System) 発送先ごとに商品を仕分ける装置

計画を抽出するため、Step1 で各工程の最適処理順序との類似度が高くかつ高スループットが望める全体最適案を高評価とする式を定義し、全体最適案を評価する。加えて、ロバスト性をもつ計画を抽出するため Step3~5 では、Step1 において高評価だった複数の全体最適案のうち順序が多少入れ替わっても作業時間が変化しない全体最適案を探索する。

Step1. 以下に定義した評価式を用い、全体最適案の F を計算する。

$$F = w_1 e^{-\alpha} + w_2 \beta + w_3 S_1 + w_4 S_2 \quad F \rightarrow \text{最大化}$$

α : 全体最適制御機能内に持つ、計画の作業時間推定機能で推定した全工程作業時間[day]。

β : 作業時間推定機能で推定した全工程作業時間の予測精度。

S_n : 個別工程の最適順序と全体最適案との処理順序の類似度、 n は対象とする工程数存在する。

W_m : 各項の重み係数。

Step2. これまでの評価した全体最適案のうち F の値が大きい上位複数件の全体最適案を「親全体最適案」と決定し、①に渡す。

Step3. 全体最適制御機能①~③のループが終了したら、これまで作成したすべての全体最適案のうち F の値が大きい上位複数件の全体最適案を抽出する

Step4. Step3 で抽出した全体最適案のうち 1 件と他すべての全体最適案との類似度を計算する。

Step5. Step4 を Step3 で抽出したすべての全体最適案に対して行い、予め設定した値の類似度以上の全体最適案の存在が最多で、かつその全体最適案の β が大きく外れないものを全体最適計画と決定する。

3. 全体最適計画の評価

全体最適制御機能プロトタイプを開発し、プロトタイプで作成した全体最適計画の評価実験を行った。実験で扱うユースケースとして、物流倉庫の出荷に関わる

- ・ピッキング工程
- ・値付け工程(商品に値札をつける)
- ・仕分け工程(発送先ごとに商品を仕分けるためMSS*へ商品を投入し MSS から発送先ごとにまとまった荷物を排出する)
- ・検品工程

これら 4 つの連続する工程を対象とする。なお、上記工程はそれぞれ効率的な処理順序の条件が異なる。このうち値付け工程と仕分け工程が情報取得・制御が可能な工程とし、この 2 工程にとつての全体最適計画 1 種類を作成し、それに示された処理順序で 4 工程全体を通して作業する。全体最適計画に示された処理順序は 1 種類でどの工程でも同じ順序で扱う。評価実験は倉庫業務を再現する評価シミュレータを用いた。評価内容は以下(A)(B)である。

(A)ロバスト性の評価：全体最適計画の処理順序が入れ替わったときのスループットと計画通り遂行した時のスループットの差がどれだけ抑えられているか

(B) スループットの評価：全体最適計画と個別工程最適順序それぞれで作業したときの全工程スループット(作業時間)と各工程スループットの比較

実験は模擬的に作成した 14 日分の出荷商品リストを用い、評価シミュレータでピッキングから検品の 4 工程の作業時

間を算出し、14 日間の平均を求め(A)(B)の評価を行った。

まず(A)の評価にあたり、2 章で説明した手法でロバスト性を持った全体最適計画「全体最適ロバスト有」と、2.2 章の Step3~5.の工程を入れずロバスト性をもたない全体最適計画「全体最適ロバスト無」の 2 種類の計画を準備した。そして現場においてそれらの計画通りに業務履行されず商品の処理順序が変わってしまう現象を評価シミュレータ内で再現した。計画に示された商品のうち 10%,30%,50%の処理順序を入れ替えたときと、計画通りに処理された(0%)ときの全工程作業時間を算出した(表 1)。

「全体最適ロバスト有」は「全体最適ロバスト無」と比べ、計画から処理順序が入れ替わった時でも作業時間への影響が少ないことがわかり、緩やかではあるがロバスト性が有効になっていることがわかった。

表 1 : (A)の評価結果 [単位:分] 表内()は 0%との差分

順序入れ替え割合	全体最適ロバスト有	全体最適ロバスト無
0%	691	716
10%	690 (-1)	697 (-19)
30%	675 (-16)	678(-38)
50%	677 (-14)	682 (-34)

そして(B)の評価のため、評価シミュレータで求めた値付け・仕分け各個別工程最適順序での全工程作業時間と、全体最適計画から 30%の商品の順序入れ替わりが現場で起きた場合の全工程作業時間を比較した(表 2)。「全体最適計画ロバスト有」では最も好成績の個別工程最適順序(仕分け工程順序)と 2%の差で全工程の作業時間が短く、高スループットの結果となった。

表 2 : (B)の評価結果 [単位:分]. 表内()は 14 日分の値の標準偏差

項目	値付け最適順序	仕分け最適順序	全体最適計画ロバスト有
4工程全体の作業時間	764 (89.5)	663 (71.4)	675 (68.2)
各工程の作業時間	ピッキング	335	336
	値付け	547	570
	仕分け	551	574
	梱包	416	457

4. まとめ

物流倉庫業務の複数工程全体のスループットを向上させる全体最適計画を作成する「全体最適制御機能」を開発した。倉庫業務シミュレータで全体最適計画を評価した結果、個別工程最適順序と同等のスループットを得られた。また全体最適計画から処理順序の入れ替えが発生してもスループットへの影響が小さいことが確認された。

参考文献

- [1] 経済産業省, “電子商取引実態調査”, (2020)
- [2] 国土交通省, “平成 30 年度宅配便等取扱個数の調査”, (2019)
- [3] S.Henn, S.Koch, and G.Wscher: Order batching in order picking warehouses: a survey of solution approaches.In Warehousing in the global supply chain(Springer, London,2012),105-137. (2012)
- [4] Jarbis, J. and McDowell, E., “Optimal Product Layout in a Order Picking Warehouse.” IIE Transactions, Vol 23, pp.93-102, (1991)