

商品の入れ替えコストを考慮した配置変更によるオーダーピッキングの効率化

渡邊南美[†] 伊原滉也^{‡§} 佐久間拓人[‡] 加藤昇平^{†‡§}[†]名古屋工業大学 大学院工学研究科 工学専攻 創造工学プログラム[‡]名古屋工業大学 大学院工学研究科 工学専攻 情報工学系プログラム[§]名古屋工業大学 情報科学フロンティア研究院

1 はじめに

物流には保管、荷役、流通加工、包装・梱包、運搬の5つの役割があり、運搬以外の4つは物流倉庫内の作業である。そして近年の物流量の増加に伴い、物流倉庫では業務の効率化が求められている。特に作業者が倉庫内の棚を巡回して商品の収集を行う出荷ピッキング作業は業務のコストの約55%[1]を占めており、大きな割合となっている。ピッキング作業を効率化する方法としては、棚への商品配置を最適化することが挙げられるが、大規模倉庫では万単位の種類を管理しており、その配置組合せ総数は膨大である。この問題に対し、我々は粒子群最適化手法の一つであるBLPSOを用いた商品配置システムを提案している[2]。しかしながら[2]では商品配置を変更する労力を考慮できていなかった。倉庫や棚には各商品の在庫が複数保管されており、多くの種類の商品を入れ替える作業は負担が大きい。そこで本稿では入れ替える商品数を考慮した配置最適化手法を提案する。アルゴリズムには[2]と同様に粒子群最適化手法の一つであるBLPSOを用いた。そして物流倉庫の業務データによるシミュレーション実験により提案手法の有用性を検証する。

2 問題設定

商品配置最適化は、商品ごとに配置される棚を決定する棚割当問題を解くことで近似解を求める。棚には入る商品の体積に限りがあることと、重量の大きい商品は棚の下段に格納する条件があるため、この問題は棚の容積と各棚に格納する特定の商品の数を制約とした制約付離散最適化問題である。全棚の集合を $s = [s_1, \dots, s_{n_s}]$ 、全商品の集合を $m = [m_1, \dots, m_{n_m}]$ とする。そして決定変数 $x = [x_1, \dots, x_{n_m}]$ は商品配置を表し、 $x_i = s_j$ のとき商品 m_i が棚 s_j に配置されるとする。

オーダーピッキングでは注文伝票をもとに一度にピッキングする商品の組であるピッキンググループ (PG) を作成する。ピッカーはPGに従い、商品を収集して倉庫内を回り、4つのPGごとに収集した商品を梱包・発送作業を行うピッキングステーション (PS) へ届ける。本研究では目的関数にピッキングのコストと商品の入れ替えコストの和を用いる。本稿ではピッキングコストは全PG $G = [g_1, \dots, g_{n_g}]$ のピッキングにかかる移動距離を用いる。また商品の入れ替えコストは、現実の倉庫において使用されている商品配置から配置が変更された商品の個数に重み付けした値を用いる。目的

関数 f は以下の式で定義した。

$$f(x) = distance(x, G) + weight \times replace(x) \quad (1)$$

ここで、 $distance(x, G)$ は商品配置 x における、PGのピッキングにかかる総移動距離を表す。また $weight$ は重みを表し、 $replace(x)$ は初期配置と x を比較し、商品の配置が変更された商品の個数を返す関数である。

制約条件は棚 s_i の容積を C_i とし、棚の容量制約を以下の式で定義した。

$$C_i \geq v_i \quad (i = 1, \dots, n_s) \quad (2)$$

$$v_i = \sum_{\{j|x_j=s_i\}} volume(m_j) \quad (3)$$

ここで、 v_i は棚 s_i に配置された商品の総体積、 $volume(m_j)$ は商品 m_j の体積を表す。

また重量の大きい商品は棚の下段に格納するため、各棚の重量の大きい商品の最大格納数を N_{max} とし、格納制約を以下の式で定義した。

$$N_{max} \geq h_i \quad (i = 1, \dots, n_s) \quad (4)$$

ここで h_i は棚 s_i に配置された重量の大きい商品の合計数を表す。

3 提案システム

離散粒子群最適化アルゴリズムにより生成された解候補 (商品配置) はシミュレータに与えられ、その商品配置において受注データに従い、ピッキングのシミュレーションと制約計算が行われる。そして実際のピッキング方法に沿って設計された適応度計算を行い、その結果に基づきアルゴリズムが解を更新する。

3.1 適応度評価

適応度評価では、移動コストを商品の収集にかかるコストと、PSへの往復コストに分けて考える。商品の収集コストはPGに含まれる商品間の最短距離とする。また、往復コストは本来はPGや商品の処理順序に依存するが、簡単のために期待値で評価する。適応度 f' として、以下の式で定義した。

$$f'(x) = \sum_i^{n_g} \{TSP(x, g_i) + \frac{1}{4} dist_{ave}(x, g_i) \times 2\} + weight \times replace(x) \quad (5)$$

ここで、 $TSP(x, g_i)$ は商品配置 x におけるPG g_i 内の商品間の最短移動距離を表し、巡回セールスマン問題 (TSP) を解くことにより求める。ただし、高速に適応度評価するため、本稿では近似解を求めるChristofidesアルゴリズム[3]を用いた。 $dist_{ave}(x, g_i)$ はPG g_i 内の商品とPSとの平均距離を表す。提案システムでは計算コスト削減のため、目的関数を構成しているピッキングコストと入れ替えコストの計算の代わりに適応度計算を行い、解を評価する。

3.2 粒子群最適化

粒子群最適化 (PSO)[4] は、複数の粒子が情報共有しながら多点探索を行う連続最適化手法である。この

Improving efficiency of order picking by rearranging products considering product replacement cost

Minami WATANABE[†], Koya IHARA^{†‡}, Takuto SAKUMA^{†‡}, Shohei KATO^{†‡§}

[†]Creative Engineering Program, Dept. of Engineering, Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology

[‡]Dept. of Computer Science and Engineering, Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology

[§]Frontier Research Institute for Information Science, Nagoya Institute of Technology

*^{†‡}Gokiso-cho, Showa-ku, Nagoya 466-8555, Japan

{nabe, ihara, sakuma, shohey}@katolab.nitech.ac.jp

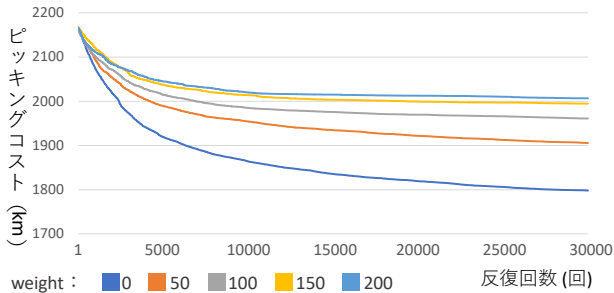


図 1: weight 別のピッキングコスト

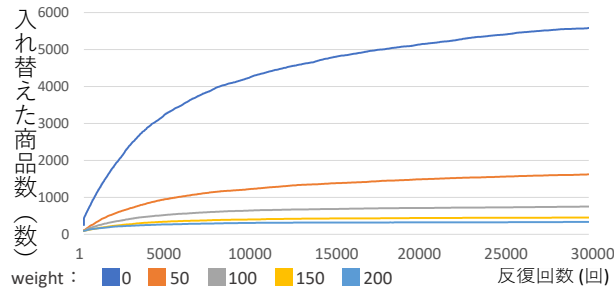


図 2: weight 別の入れ替え商品数

PSO を用いて商品配置を最適化する解を生成する。伊原・加藤 [5] は PSO の粒子の位置ベクトルにビット列を用いる Binary PSO を拡張し、粒子の位置や速度によって表現された確率分布から解候補をサンプリングする際のステップサイズを Lévy 分布により制御することによって探索の効率化を図る BLPSO を提案した。

4 実験

ピッキングにかかる移動距離に加え、入れ替える商品数に 5 つの異なる重み $weight$ を付与した値の和を目的関数とした商品配置最適化により、ピッキングコストと入れ替える商品数を削減できる配置の探索を行う。

4.1 アルゴリズム設定

PSO パラメータは、群サイズ 10、最大反復回数 30000、最大速度 V_{max} は元論文 [4] の推奨値 10.0 を採用した。Lévy flight に関して、スケールパラメータ $\alpha = 1.0$ とし、 β は文献 [6] に倣い $\beta = 1.5$ とする。容量制約を扱うために ϵ 制約法 [7] を採用した。また商品配置最適化に伴う商品の入れ替え個数に付与する重み $weight$ を 0 から 200 までの範囲で 50 ずつ変化させた。以上の実験設定により、国内物流企業から提供を受けた実データをもとに倉庫内の棚への商品配置最適化を行い、シミュレーション結果により評価を行う。本実験では倉庫内の一部における 3 ヶ月分 (2021 年 2 月 1 日から 2021 年 4 月 30 日) を用いた。

4.2 実験結果

図 1 と図 2 に入れ替えコスト別のピッキングコストと入れ替えコストの反復回数による遷移を示す。図 1 の縦軸はピッキングコスト (km) を、図 2 の縦軸は商品の入れ替え個数を表し、それぞれの図の横軸は反復回数を表す。また表 1 に最適化終了時における重み別のピッキングコスト、削減距離と割合、そして入れ替える商品の総数の平均値と標準偏差 (SD) をまとめる。入れ替えコストを考慮しない、つまり $weight = 0$ のときの商品配置のピッキングコストは最小だが、入れ替える商品数は 5500 を超える結果となった。一方、 $weight > 0$ 場合にはピッキングコストの削減量は減るものの、入れ替える商品数も減少した。重みづけした値が大きいほどピッキングコストの削減量は小さくなり、同時に入れ替える商品数も少なくなる結果となっ

表 1: 重み別のピッキングコストと商品の入れ替え個数

(10 試行平均)

weight	ピッキングコスト			入れ替え個数 (SD)
	距離 (SD) (km)	削減距離 (km)	削減割合 (%)	
0	1798.0 (14.1)	368.2	17.00	5585.3 (308.1)
50	1905.7 (5.7)	260.5	12.03	1621.9 (56.8)
100	1961.1 (11.3)	205.0	9.46	749.5 (37.8)
150	1994.6 (8.4)	171.6	7.92	453.5 (23.7)
200	2006.8 (5.4)	159.3	7.35	333.1 (16.5)

た。重みづけした値のうち、 $weight = 100$ の時に入れ替える商品数が約 750 個となり、入れ替えコストを考慮しない場合の 13.4% に入れ替える商品数を軽減でき、またピッキングコストも約 9.5% 削減することができた。

5 おわりに

本稿では商品配置を変更するコストを考慮した倉庫の配置最適化システムを提案した。実験によりピッキングコストと入れ替えコストの和を目的関数とすることで、入れ替える商品数を減らしつつ、ピッキングコストの効果的な削減量を実現した配置探索に成功した。今後は配置最適化の課題である渋滞をも考慮した多目的最適化を行い、より精緻なシミュレータ [8] を用いて実倉庫に近い環境下での効果を検証する。

6 謝辞

本研究は、一部、文部科学省科学研究費補助金 (課題番号 JP19H01137, JP19H04025, JP20H04018, および、JP20J14182) の助成により行われた。物流業務の実データを提供いただいた株式会社八幡ねじに謝意を表します。

参考文献

- [1] de Koster, R., Le-Duc, T. and Roodbergen, K. J.: Design and control of warehouse order picking: A literature review, *European Journal of Operational Research*, Vol. 182, No. 2, pp. 481–501 (2007).
- [2] 渡邊南美, 伊原滉也, 佐久間拓人, 加藤昇平: Lévy Flight を導入した Binary PSO による物流倉庫の商品配置最適化, 人工知能学会全国大会論文集 第 35 回全国大会 (2021), p. 2F4GS10h01 (2021).
- [3] Christofides, N.: Worst-case analysis of a new heuristic for the travelling salesman problem, Technical report, Carnegie-Mellon Univ Pittsburgh Pa Management Sciences Research Group (1976).
- [4] Kennedy, J. and Eberhart, R.: Particle swarm optimization, in *Proceedings of ICNN'95-international conference on neural networks*, Vol. 4, pp. 1942–1948, IEEE (1995).
- [5] Ihara, K. and Kato, S.: A Novel Sampling Method with Lévy Flight for Distribution-Based Discrete Particle Swarm Optimization, in *2021 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*, pp. 2281–2288 (2021).
- [6] Yang, X.-S. and Deb, S.: Engineering optimisation by cuckoo search, *International Journal of Mathematical Modelling and Numerical Optimisation*, Vol. 1, No. 4, pp. 330–343 (2010).
- [7] Takahama, T. and Sakai, S.: Constrained optimization by ϵ constrained particle swarm optimizer with ϵ -level control, in *Soft computing as transdisciplinary science and technology*, pp. 1019–1029, Springer (2005).
- [8] 佐久間拓人, 渡邊南美, 伊原滉也, 加藤昇平: 物流倉庫におけるオーダーピッキングシミュレータの開発, 情報処理学会研究報告. 数理モデル化と問題解決 (MPS), 第 2021-MPS-135 巻, pp. 1–5 (2021).