

# 大規模物流センターの割り込みスケジューリングの研究

－強化学習によるリアクティブスケジューリング－

北海道大学大学院情報科学研究科 高橋 麻希子, 北見工業大学 渡辺 美知子  
北海道大学大学院情報科学研究科 鈴木 育男, 山本 雅人, 古川 正志

## A study on interrupt scheduling of a logistic center - Re-active scheduling by the reinforcement learning -

Hokkaido University Makiko TAKAHASHI, Kitami Institute of Technology Michiko WATANABE  
Hokkaido University Ikuo SUZUKI, Masahito YAMAMOTO, Masashi FURUKAWA

We have proposed a new scheduling method on the order-picking problem in a logistic center based on 'Local Clustering Organization (LCO)'. Moreover, we have proposed a re-scheduling method how the urgent interrupt orders are turned based on LCO. This study focuses on re-active scheduling by reinforcement learning. We propose a re-active scheduling method how the urgent interrupt orders are turned based on LCO and reinforcement learning. Moreover, we prove the effectiveness of the proposed method.

### 1. はじめに

カタログ販売やインターネットショッピングの増加により、多種多様な商品が取り扱われるようになり、物流コストの削減を目的とした物流センターを設置する企業が増加している。大規模な物流センターでは作業者が伝票の注文に従い、商品を集めて廻るのが一般的であり、これをピッキングと呼ぶ。作業によるオーダーピッキング作業は、どのような順番で商品を集めて廻るかの経験による作業効率の差が生じる。従って、総作業時間が増加してしまう点や、作業による作業量の差が出てしまう点で問題がある。

これまで、短時間に作業を終わらせるために、エネルギー基準のバッチを作成し、エネルギー基準のスケジューリング方法を提案してきた<sup>1)</sup>。また、既にスケジューリングがなされたオーダーピッキングに緊急の割り込みオーダーが起こったときの割り込み方法と、その結果に基づく再スケジューリング方法を提案した<sup>2)</sup>。

本研究では、スケジューリングされているオーダーと緊急オーダーの様々な状態に対応するために、強化学習を用いたリアクティブスケジューリング方法を提案し、シミュレーション実験によって提案手法の有効性を報告する。

### 2. 物流センター配送問題

物流センターは、多品種・大量の商品の在庫保管、仕分け、配送、流通加工などの機能を持ち、顧客への納期の厳守と物流コストを下げる役割がある。物流センターにおける物流コストの削減を行うために考慮する問題には、集配経路決定問題、伝票割り当て問題、商品保管問題、トラック集荷レイアウト問題、配送経路最小化問題などがあげられる。ここでは、集配経路決定問題と伝票割り当て問題に焦点をあてる。

### 3. これまでの研究

これまで、物流センター配送問題における集配経路決定問題と伝票割り当て問題を解決するために、エネルギー基準のバッチを作成する方法を提案してきた。バッチの作成や、集配経路の決定には、局所クラスタリング組織化法 (Local Clustering Organization, LCO)<sup>3)</sup> を適用している。ここで、バッチ処理は、伝票割り当て問題に該当し、バッチに含まれるオーダー内の

最短経路を求める問題は、配送経路決定問題に該当する。提案した手法により、バッチ数の減少と、エネルギーの減少がみられ、総作業時間の短縮が確認された。

更に、既にスケジューリングがなされたオーダーピッキングに緊急割り込みオーダーが投入された場合の、投入時間から指定時間内に緊急割り込みオーダーがピッキングされるように割り込む方法についてとりあげた。提案手法により、作業時間以内に作業を終了させ、かつ、緊急オーダーが指定時間内にピッキングされることが確認された。

しかしながら、これまでの手法では、緊急割り込みオーダーの数や、投入する時間などを柔軟に決定することができない。そこで、物流センターの状態やオーダーピッキングの状況、緊急割り込みオーダーの特徴に応じる、リアクティブなスケジューリングをする方法を提案する。

### 4. 物流センターにおけるリアクティブスケジューリング

本研究で取り扱う物流センターの条件を以下に示す。

- (1) 1日の始めに、当日の作業時間で行われるオーダーピッキングのスケジュールが組まれている。
- (2) 緊急割り込みオーダーは、1日1回、不定時に投入され、投入後、指定された時間内にオーダーピッキングを終了させなければならない。

上記を踏まえた上で、緊急割り込みオーダーが投入された時点での物流センターの状態と、緊急割り込みオーダーの内容により、どのように再スケジューリングをすれば良いかを決める必要がある。このようなリアクティブなスケジューリングを行うために強化学習を用い、物流センターの現在の状態を観測し、とるべき行動を決定する問題として扱う。ここでは、強化学習の方法として、Q学習<sup>5)</sup>を用いた。

#### 4.1 Q学習のアルゴリズム

Q学習は機械学習手法の方策オフ型TD学習の1つである。Q学習の更新式は以下で表される。

$$Q(s_t, a_t) \leftarrow Q(s_t, a_t) + \alpha[r_{t+1} + \gamma \max_a Q(s_{t+1}, a) - Q(s_t, a_t)] \quad (1)$$

ここで、 $t$  は離散時間ステップ、 $s_t$  は  $t$  での状態、 $a_t$  は  $t$  での行動、 $\alpha$  は学習率、 $r_{t+1}$  は  $t+1$  での報酬、 $\gamma$  は割引率を表

**Table 1** State  $s$

$A_i \backslash B_j$	1	2	3	4
1	$s_1$	$s_2$	$s_3$	$s_4$
2	$s_5$	$s_6$	$s_7$	$s_8$
3	$s_9$	$s_{10}$	$s_{11}$	$s_{12}$
4	$s_{13}$	$s_{14}$	$s_{15}$	$s_{16}$

**Table 2** Value of  $i, j$

$i, j$	範囲 [%]
1	0-25
2	25-50
3	50-75
4	75-100

**Table 3** Action  $a$

$a$	action	$\alpha$
$a_1$	(1)	0.5
$a_2$	(2)	1.0
$a_3$	(3)	1.5
$a_4$	(4)	2.0

す．行動の選択率は以下の式で計算される．

$$\pi(s_t, a_t) = \arg \text{prob} \frac{\exp(Q(s, a_k))}{\sum_k \exp(Q(s, a_k))} \quad (2)$$

本研究で提案した状態  $s$  を表 1 に示す．ここで， $A$  をスケジューリングしたオーダー全体に対する，緊急割り込みオーダー発生時にピッキングされていないオーダーの割合， $B$  を  $A$  に対する緊急割り込みオーダーの割合とする． $A, B$  それぞれ総当たりにし，計 16 通りの状態を作成した．表中の  $i, j$  の値ととりうる範囲については表 2 に示す．また，行動  $a$  を，表 3 に示す．表中の行動の内容と番号は以下である．

- (1) 伝票に含まれる商品が似ているものでバッチングする．
- (2) 商品の格納されている棚番号が近いものでバッチングする．
- (3) エネルギー基準のバッチングをする．
- (4) 緊急割り込みオーダーのみでバッチングし，投入直後にピッキングする．

5. 提案方法

以下に，提案方法のアルゴリズムの概要を示す．

- (1) 1 日に扱うオーダーについて，エネルギー基準に基づくバッチの作成を行う．
- (2)  $Q(s_t, a_t)$  を任意に初期化する．
- (3) 緊急割り込みオーダーを投入する時刻と，投入するオーダー数を決定する．
- (4) 緊急割り込みオーダーのみでバッチングし，投入時間以降に割り込ませ，滞留時間を調べる．このときの滞留時間が最大滞留時間となる．
- (5)  $Q$  から導かれる方策を使い， $s$  での行動  $a$  を選択する．
- (6) 投入時間から指定時間以内に緊急割り込みオーダーが含まれ，かつ，全ての作業が指定時間以内に終了していれば，報酬を与え， $Q$  値を更新する．
- (7) (3) へ戻り，繰り返す．

5.1 評価方法

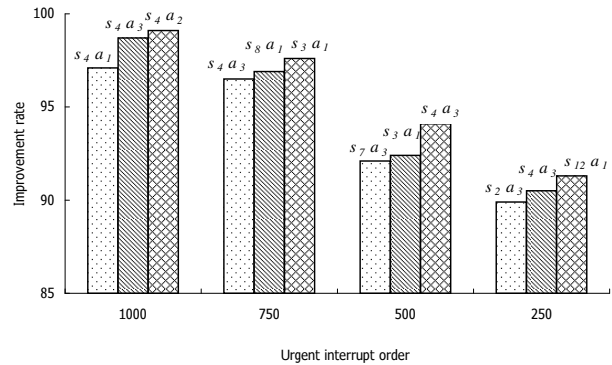
この問題は，緊急割り込みオーダーが投入されてから特定時間以内に，緊急割り込みオーダーのピッキング作業が終われば良い．緊急割り込みオーダーのピッキング作業を特定時間内に終了し，かつ，物流センターの作業時間を超えないようにする．

6. 数値計算実験

提案方法の有効性を検証するため，実データを用い，実験を行った．実験条件は表 4 の通りである．緊急割り込みオー

**Table 4** Experimental condition

Parameter	Value
Hour of operation of logistic center $T$ [hour]	15
Number of orders $n$	7000
Maximum number of an urgent interrupt order $n_a$	1000
Weight of the cart $w_0$	20
Maximum of weight of a batch $W$	50
The speed of the cart [m/sec]	1
Picking time [sec]	3



**Fig. 1** Improvement rate of time

ダー数を 250, 500, 750, 1000 の 4 通りで検証した．図 1 は，緊急割り込みオーダーのみでバッチングし投入した場合の物流センターの作業時間を 100% とし，各緊急オーダー数で改善率の高かった上位 3 パターンを示している．

緊急オーダー数が少ない場合，ピッキングされていないオーダー数が 25-50% 程度でも再スケジュールでき，全体の作業時間も改善された．しかし，緊急オーダー数が 750, 900 の場合，ピッキングされていないオーダー数が 70% 以上ないと残業時間が発生し，作業時間もあまり改善されない結果となった．

7. おわりに

本研究では，強化学習を用いて，物流センターの状態に応じたリアクティブスケジューリングの方法を提案し，検証を行った．数値計算実験の結果，提案手法により，物流センターの状況，緊急割り込みオーダーの数に応じた再スケジュールが行われた．現状では，オーダーの数を元にリアクティブスケジューリングを行っているが，緊急割り込みオーダー数が多い場合，ピッキングされていないオーダー数が十分に残っていないと残業時間が発生してしまうため，手法に改善が必要である．今後，本手法の更なる検証と，オーダーに含まれる商品の特徴を考慮したスケジューリング方法の提案などを予定している．

参考文献

- 1) 高橋麻希子, 鈴木育男, 山本雅人, 渡辺美知子, 古川正志: "エネルギー基準によるオーダーピッキングの最適バッチングの作成", 2008 年度精密工学会北海道支部学術講演会講演論文集, pp.33-34 (2008) .
- 2) 高橋麻希子, 鈴木育男, 山本雅人, 渡辺美知子, 古川正志: "オーダーピッキングの割り込みによる再スケジュールについて", 2009 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, H05, pp. 541-542 (2009) .
- 3) 古川正志, 渡辺美知子, 松村有祐: "局所クラスタリング組織化法による TSP の解法", 日本機械学会論文集 C 編, 71 巻, 711 号, pp. 3189-3195 (2005) .
- 4) 古川他: "システム工学", コロナ社
- 5) Richard S. Sutton and Andrew G. Barto: "強化学習", 三上他訳, 森北出版