



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	ネットワークポロジを考慮した自己組織化マップによる商品配置方法の提案
Author(s)	南, 賢一; 飯塚, 博幸; 古川, 正志 他
Citation	人工知能学会論文誌, 30(6), 737-744 https://doi.org/10.1527/tjsai.30-6_JWEIN-H
Issue Date	2015
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/64556
Type	journal article
File Information	30_30-6_JWEIN-H.pdf



ネットワークトポロジーを考慮した自己組織化マップによる商品配置方法の提案

Proposing Storage Location Assignment Using Self-Organizing Map on Network Topology

南 賢一
Kenichi Minami

北海道大学 大学院情報科学研究科
Information Science and Technology, Hokkaido University
minami@complex.ist.hokudai.ac.jp

飯塚 博幸
Hiroyuki Iizuka

(同 上)
iizuka@complex.ist.hokudai.ac.jp

古川 正志
Masashi Furukawa

北海道情報大学
Hokkaido Information University
mack@do-johodai.ac.jp

山本 雅人
Masahito Yamamoto

北海道大学 大学院情報科学研究科
Information Science and Technology, Hokkaido University
masahito@complex.ist.hokudai.ac.jp

keywords: Storage Location Assignment, Self-Organizing Map, Network Topology

Summary

The distribution center became more important because the growth of the internet enabled us to buy various products easily on the Internet. In the distribution center, one of the main works is order picking which is to carry the products from shelves of the warehouse according to the orders received from customers. Efficient order picking reduces the large amount of work and the improvement of the order picking is necessary in a larger distribution center. It is important for order picking not only to give workers a good tour plan but also to assign products to the storage shelves in the distribution center. It is known that it is effective to consider frequency order and frequency of co-occurrence at the same time for storage location assignment. The conventional studies proposes the class-based method for frequency order and evaluation function to evaluate frequency order and co-occurrence of orders at the same time. This study proposes a novel method how to assign products to the storage using a co-occurrence network of ordered products and self-organizing map on network topology of the warehouse. Our proposed method is compared with the conventional studies and our experiments show that our proposed method can be more effective than the conventional methods.

1. 緒 言

近年, Amazon などのインターネット通信販売が広く普及し, 個人がインターネット上でさまざまな商品を手軽に購入できるようになった。それによって顧客より求められる商品の種類が急激に増加し, 扱われる商品の多様・多様化が進んだことで, 物流センターの重要性がより注目されるようになった。一方で, 多くの企業にとって物流センターでのコストの削減が大きな課題となっており, 物流センター内の作業を効率化するための研究が盛んに行われている。物流センター内では, 商品の保管, 伝票に応じて商品を棚から運び出すピッキング作業, 集積, 仕分け, 梱包, 配送, 流通加工などが行われており, その中でもピッキング作業は物流センターの全作業時間の約 60 %を占めるといわれている [Coyle 02]。そのため, ピッキング作業を効率化することで物流コストを下

げることが可能である。ピッキング作業の効率化の一つに, 棚への商品配置の最適化が挙げられる。

ピッキング作業は, 顧客から注文された商品について記されている伝票に基づいて行われ, 一つの伝票には複数の商品の情報が記されている。このとき, 頻繁に注文される商品を出入口付近に配置することでピッキング作業時の移動コストを削減する方法が一般的に知られている。しかし, このような注文頻度のみを考慮した商品配置の方法にはまだ改善の余地がある。顧客から注文された商品には, ある特定の商品のペアが頻繁に同じ伝票内で同時に注文されるといった依存関係が存在する。このため, 物流センターの倉庫に商品を保管する際に同時に注文される商品のペアをお互いに近くの棚に配置することで, ピッキング作業の際の移動コストが削減でき, ピッキング作業を効率化することが期待できる [Frazelle 89]。しかし, 扱う商品の数が多くなると組合せ爆発が発生し,

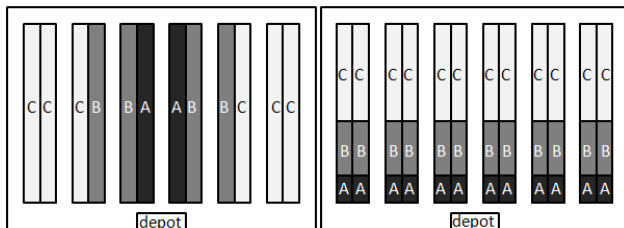


図1 クラスごとの配置方法の例

商品間の依存関係を考慮した商品配置が難しくなる。

本論文では、商品間の依存関係を考慮するため、同時に注文される商品同士をリンクでつないだ共起ネットワークを扱い、倉庫の通路を表したネットワークポロジータに写像するために自己組織化マップを用いた商品配置手法を提案する。提案手法の有効性を検証するため、仮想的な倉庫を設定し、実際の注文情報に則した伝票にもとづくピッキング作業のシミュレーション実験により既存手法との比較を行った。

2. 既存手法

2.1 Class-based storage

注文頻度を考慮した商品配置手法に Class-based storage[Graves 77]がある。Class-based storage とは、注文頻度によって商品のクラス分けを行い、クラスごとに商品を配置していく手法である。商品の分類方法は、需要量の多い約 20%の商品のみで粗利益の約 80%を占めるというパレートの法則に基づいて分類される。一般的には「ABC 分析」と呼ばれる 3 つのクラスに分類することが多い。このとき、注文頻度の最も高いクラスを A-items と呼び、以下順に B-items, C-items と呼ぶ。分類されたクラスの割り当て手法として、図 1 のような一つの通路に対して一つのクラスの商品だけを配置する手法 [Jarvis 91] や、出入口に近い順に上位のクラスの商品を配置する手法 [Jarvis 89] などがある。Class-based storage は非常に簡単な手法でありながらピッキング作業を大幅に効率化できるため、一般的に広く用いられてきた手法であるが、商品間の依存関係が考慮されていないという問題がある。

2.2 Family grouping

ある特定の商品のペアが頻繁に同じ伝票内で同時に注文されるといった依存関係が存在する場合、その 2 商品はお互いに近くに配置されることが望ましい。このように商品配置に商品間の依存関係を考慮した手法は Family grouping と呼ばれる。Family grouping は依存関係の強い商品同士をお互いに近くに配置する配置手法であるが、一般的に Class-based storage などの他の手法と組み合わせて用いられる。Family grouping を用いるためには、商品間の依存関係を表す統計的な指標が必要となる。商品間

の依存関係を表す指標は Frazelle and Sharp[Frazelle 89] や Brynze and Johansson[Brynze 96] などにより研究され、代表的な指標として共起頻度 (同一伝票内で同時に注文された回数) が挙げられる。

Family grouping の代表的な手法として、Complementary-based method[Wäscher 04]がある。Complementary-based method は Family grouping に Class-based storage を組み合わせた手法であり、2 段階で行われる。1 段階目で Class-based storage を用いて商品を注文頻度に応じてクラス分けを行い、2 段階目において、同じクラス内で依存関係の強い商品同士をお互いに近くに配置するように、1 段階目で得られた配置を変更していく方法である。これにより、商品配置において注文頻度を考慮しながらある程度の共起頻度を配置に反映することができるが、クラス間の共起頻度については考慮されていないという問題がある。

2.3 Order Oriented Slotting(OOS)

注文頻度に加えて、商品間の依存関係を考慮した商品配置手法に Order Oriented Slotting(OOS)[Mantel 07]がある。彼らは頻繁に注文される商品を出入口付近に配置すると同時に、同時に注文される商品同士をお互いに近くに配置するべきでないとし、そのために以下の評価式を用いて配置場所を最適化する手法を提案している。

$$E = \sum_{i=1}^{l-1} \sum_{j=i+1}^l f_{ij} d_{ij} + \alpha \sum_{i=1}^l f_{i0} d_{i0} \quad (1)$$

ここで、 l は商品の種類数を表している。 f_{ij} は商品 i, j の共起頻度、 d_{ij} は商品 i, j 間の距離、 f_{i0} は商品 i の注文頻度、 d_{i0} は商品 i と出入口との距離を表している。前項により共起頻度を、後項により注文頻度の反映度合いを評価し、最終的に評価式 E を最小化することを目的とする。このとき、 α は経験的に決定される。

OOS による商品配置は、扱う倉庫の規模が小さい場合は非常に有効であるが、扱う倉庫の規模が大きくなり商品の種類数が増大すると、組合せ爆発が発生して探索が困難になり、局所解に陥ってしまうため、配置結果に注文頻度と共起頻度を十分に考慮できなくなるという欠点がある。この理由として、OOS のような評価関数を最適化していく方法は配置変更後に毎回評価を行う必要があるため、計算時間がかかり、幅広い探索ができないことが挙げられる。一方で SOM は評価関数による毎回の評価を行わず、ニューロン同士の関係性を高速に二次元座標の位置関係で表すことができる特徴を持つ。そこで本論文では、SOM の持つ特徴に着目し、出入口から注文頻度順に並んだ配置から SOM を用いて共起頻度に応じて商品同士を引き寄せ合うことで商品全体を倉庫のネットワークポロジータの座標上で移動させ、共起頻度の高い商品同士をお互いに近くに配置することにより、大規模

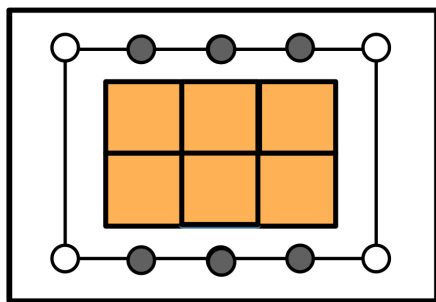


図2 倉庫のネットワークポロジの例

な倉庫の配置問題に対しても効率よく配置結果に注文頻度と共起頻度考慮できる手法を提案する。

3. 提案手法

3.1 対象とする商品配置問題

本論文では次のような商品配置問題を対象とする。倉庫には商品を配置する棚があり、一つの棚につき一つの商品を配置する。作業者が移動可能な通路には制限があり、棚間の距離は作業者が移動可能な通路上を通った距離で計算される。

3.2 自己組織化マップ (SOM)

自己組織化マップ (SOM: Self-Organizing Map) [Kohonen 96] とは、教師なし学習を行うニューラルネットワークの一種で、与えられた入力データをその関係性を保ったまま任意の次元上にマッピングする手法である。SOMは、入力層と出力層の二層のネットワークから構成される。出力層は競合層とも呼ばれる。入力層では n 次元の入力データを受け取り、出力層では m 次元上に配置されたノードが入力データを学習する。出力層は通常二次元に設定されることが多く、これにより入力データの関係を平面状で配置されたノードで表現できるため、視覚的に理解しやすくなる。

3.3 倉庫のネットワークポロジ

通常、SOMによってニューロンを二次元に写像するとき、ニューロンはユークリッド平面上を自由に移動できる。しかしながら実際の倉庫において、作業者が通れる通路は制限される。そのため、棚間の直線距離と移動にかかる距離が異なってしまう、商品同士の依存関係を正確に商品配置に反映できない。そこで、商品を配置する棚をノード、作業者が移動できる通路をリンクで表した倉庫のネットワークポロジを定義し、ニューロンをこのネットワークポロジ上に写像することで、商品配置に棚間の移動にかかる距離を反映させる。

k 個の棚と棚間を移動可能な通路を繋いだ倉庫のネットワークポロジを設定する。棚をノード、通路をリンクとすると、倉庫のネットワークは $G_s(V_s, E_s)$ と定義され

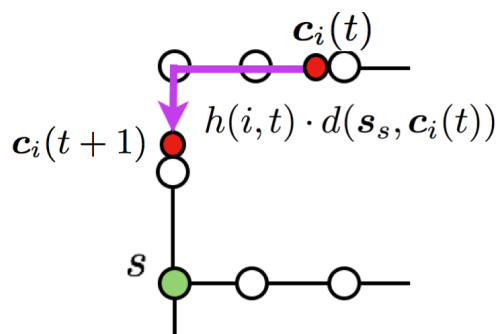


図3 SOMによる配置の例

る。このとき、棚を表すノード集合を $V_s = \{s_1, s_2, \dots, s_m\}$ とし、 $s_i (i = 1, \dots, m)$ は棚 i の位置ベクトルであり、出入口に最も近くにある棚 d の位置ベクトルを s_d とする。また、 E_s は棚間の通路の有無を表すリンク集合である。棚間の距離の計算は、棚間の直線の距離ではなく倉庫のネットワークポロジを考慮した距離を用いる。棚間の距離は倉庫の形状が決まると定義できるので、ダイクストラ法により事前に求めておく。これにより、商品同士の依存関係を棚間の移動にかかる距離で商品配置に反映できる。倉庫のネットワークポロジの例を図2に示す。黒のノードは商品を配置する棚、白のノードは通路の分岐点、リンクは作業者が移動可能な通路を表している。

3.4 注文商品の共起ネットワーク

SOMによる商品配置を行うにあたって、商品をノード、商品間の依存関係をリンクで表した共起ネットワークを生成する。生成した共起ネットワークをネットワークの関係を維持したまま棚にマッピングすることで配置に商品間の依存関係を反映していく。

l 個の商品同士の依存関係を表した共起ネットワークを設定する。商品同士の依存関係は同一伝票内で同時に注文された回数を示す共起頻度として定義される。商品をノード、商品間の共起頻度をリンクとすると、注文商品の共起ネットワークは $G_c(V_c, E_c)$ と定義される。このとき、 $V_c = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ は商品を表すノード集合で、 $c_i (i = 1, \dots, n)$ は商品 i の位置ベクトルである。商品 i の注文頻度を $w_1(i)$ とする。また、 E_c は商品同士の共起頻度を表すリンク集合である。商品 i, j の共起頻度は $w_2(i, j) (i \neq j)$ とする。

3.5 SOMによる商品配置

商品を配置する棚の中から任意に選んだ棚を信号点 s_s とし、商品 i の位置 c_i を更新する。商品の初期配置は注文頻度 $w_1(i)$ の高い順に出入口から並べる配置にし、そこから共起頻度に応じてノードを引き寄せる操作を行うことで、注文頻度を考慮しつつ共起頻度を商品配置に反映する。このとき、共起頻度に応じてノードを引き寄せ

ることで商品の位置が大きく変化してしまうと、注文頻度の高い順に並んだ配置が大きく崩れてしまい、注文頻度を十分に配置に反映することができない。また、移動コストに大きな影響を与える注文頻度の高い商品は同時に各商品との共起頻度も高くなっているため、ノードの位置の変化が大きくなる。しかし、注文頻度の高い商品は極力出入口付近での移動に留まっているのが望ましい。したがって、注文頻度の大きさに応じて注文商品の共起ネットワークのノードの移動に制限を与えることで注文頻度の高い商品を出入口付近に留めることとする。

図 3 は SOM による配置の例である。ある時刻 t の商品 i の位置を $c_i(t)$ とすると、通路を考慮したときの信号点 s_s と商品 i の位置 $c_i(t)$ の最短距離を $d(s_s, c_i(t))$ と表すと、時刻 $t+1$ で $c_i(t)$ を信号点までの距離が $h(i, t) \cdot d(s_s, c_i(t))$ になる位置 $c_i(t+1)$ に更新する

$$d(s_s, c_i(t+1)) = h(i, t) \cdot d(s_s, c_i(t)) \quad (2)$$

$h(i, t)$ は近傍関数を表し、本研究では式 (3) を用いる。このとき、 s_s に最も近いノードを勝者ノード e とする。

$$h(i, t) = \begin{cases} \alpha(t) \cdot (1 - R_1(i)) & : i = e \\ \alpha(t) \cdot (1 - R_1(i)) \cdot R_2(i) & : i \neq e \end{cases} \quad (3)$$

$$R_1(i) = 2\sigma(w_1(i)) - 1 \quad (4)$$

$$R_2(i) = 2\sigma(w_2(e, i)) - 1 \quad (5)$$

$$\sigma(w) = \frac{1}{1 + \exp(-\beta w)} \quad (6)$$

$R_1(i)$ は商品 i の注文頻度の大きさに応じて移動を制限する関数であり、 $R_2(i)$ は商品 i と勝者ノード e との共起頻度に応じて商品の移動する距離を調節する関数である。学習率 $\alpha(t)$ はステップごとに減衰する。式 (3) の $\sigma(w)$ はシグモイド関数を表し (6) で定義される。このとき、 β はゲインと呼ばれ、この値によって関数の傾きを調節する。

3.6 商品の一定ステップごとの棚の割り当て

SOM による商品配置の際に、ある一定ステップごとに注文頻度の高い商品から順に現在の位置から最も近い棚の位置に割り当てる操作を行う。この操作によって初期配置の注文頻度順の配置が大きく崩れないようにすると同時に、注文商品の共起ネットワークのノードの密集を緩和し、少しずつ共起頻度を反映させることで、最終的な配置に共起頻度をより反映することが期待できる。

3.7 提案手法のアルゴリズム

以上に基いた提案手法のアルゴリズムを以下に示す。

1. $t = 0$ とし、倉庫のネットワークトポロジー $G_s(V_s, E_s)$ 、および伝票の情報から注文商品の共起ネットワーク $G_c(V_c, E_c)$ を設定する。

2. 商品の位置を表す $c_i(t)$ を注文頻度の高い順に出入口から近い棚の位置に設定する。
3. 棚を表すノード集合 V_s からランダムに一つの信号点 s_s を選択する。
4. 通路を考慮したときの信号点 s_s までの最短距離 $d(s_s, c_i)$ が最も小さい勝者ノード e を決定する。
5. 共起頻度 $w_2(e, i)$ に応じて $c_i(t)$ を式 (2) で更新し、 $c_i(t+1)$ を得る。
6. 一定ステップ T が経過するたび ($(t \bmod T) = 0$ のとき) に、注文頻度の高い商品から順に最も出入口に近い棚の位置に配置するように (既に商品が配置されている場合は 2 番目以降に近い棚に配置) c_i を更新する。
7. 終了条件を満たしていなければ $t = t+1$ として、3 に戻る。
8. 終了条件を満たしたとき、6 と同様に注文頻度の高い商品から順に最も出入口に近い棚の位置に c_i を設定して、最終配置とする。

4. 数値計算実験

提案手法の有効性を検証するため、実際の商品の注文データを用いて商品配置を行い、ピッキング作業における移動コストの最適化を行う。配置結果の評価として、商品の注文伝票よりピッキングを行い、ピッキング作業の際の総移動距離である総ピッキング経路長を求める。

4.1 実験条件

本実験では、提案手法 (Proposed method) による商品配置を行い、商品を出入口から注文頻度順に並べた配置 (Frequency order)、および Order Oriented Slotting (OOS) による配置の結果と比較を行い、提案手法の有効性を示す。配置の評価には作業者がピッキング時に移動する総ピッキング経路長 P の比較によって評価する。

また、配置結果の直接的評価は上記の総ピッキング経路長で行うが、配置結果に注文頻度や共起頻度がどのように配置されているかを検証するため、配置結果における注文頻度、共起頻度の反映度合いの評価としてそれぞれ式 (7)、式 (8) を用いる。

$$E_1 = \sum_{i=1}^{l-1} \sum_{j=i+1}^l d(s_i, s_j) \cdot w_2(i, j) \quad (7)$$

$$E_2 = \sum_{i=1}^l d(s_d, s_i) \cdot w_1(i) \quad (8)$$

E_1 は OOS の評価式 E の第一項であり、2 商品間の最短距離と共起頻度の積を全商品のペアについて和をとることで配置の共起頻度の反映度合いを評価している。 E_2 は OOS の評価式 E の第二項であり、出入口から最も近い棚から商品の配置場所までの最短距離と注文頻度の積を

表1 伝票の設定

全商品の注文数	60026
商品の種類数	1536
伝票数	15165

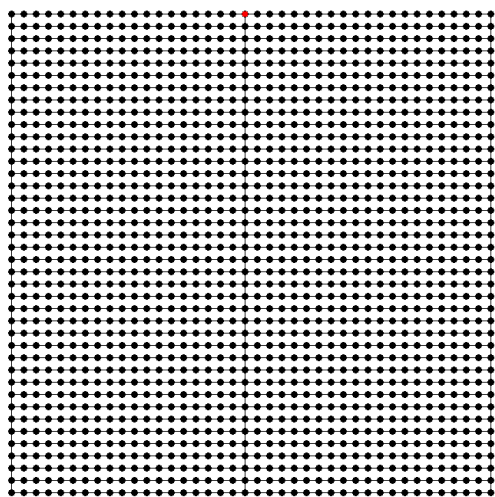


図4 倉庫の形状

全商品について和をとることで配置の注文頻度の反映度合いを評価している。

この実験に用いる伝票は某企業の実際の一日分の注文データであり、その内容を表1に示す。表1のデータを5分割し、一つをピッキング評価用（テストデータ）、残りを共起ネットワーク作成用（訓練データ）として抽出したものを5セット用意し（Order 1?5）、それぞれの結果の平均によって評価を行う5分割交差検証（5-fold Cross-validation）によって配置結果の比較を行う。商品を配置する倉庫の形状は図4で表すものであり、作業者は移動可能な縦の通路が中央と左右のみの形状になっている。本実験では棚が40×40の格子状に並んでおり、作業者が隣接した棚に移動する際の移動距離が1である倉庫を用いる。赤いノードは出入口に最も近いノード s_d を表している。棚への商品の割り当てについて、一つの棚に一つの商品を配置し、余った棚には何も配置せず空いた状態とする。

本実験において、Proposed methodは3.6節のアルゴリズムを用いる。このとき、終了条件は $t = 40000$ に到達した時とし、各オーダーについて10回の試行を行った総ピッキング経路長の平均値を求める。Proposed methodの初期配置であるFrequency orderは各オーダーにつき1回の試行を行う。OOSは以下に示されるアルゴリズムを用いる。

1. 商品を出入口から注文頻度順に並べた配置 (Frequency order) を初期配置とする
2. 商品をランダムに2?3個選択し、入れ替える
3. 商品を入れ替えて得られた配置の中で式(1)が最小の配置に更新する

4. 終了条件を満たすまで操作2, 3を繰り返す。

5. 終了条件を満たしたとき、得られた配置の総ピッキング経路長を求める

このとき、終了条件は配置が500回更新されないときとし、各オーダーについて10回の試行を行った総ピッキング経路長の平均値を求める。

4.2 実験結果

各手法によって得られた配置における総ピッキング経路長 P を表2に示す。総ピッキング経路長 P についてFrequency orderと比較して、OOSは平均で約1.69%減少しているのに対し、Proposed methodは約2.35%減少している。また、Order 1?5のすべてにおいてProposed methodは総ピッキング経路長 P がOOSに対して減少している。

配置結果の共起頻度の評価式 E_1 を表3、共起頻度の高い商品のペア順ごとの平均棚間距離を比較を表4、注文頻度の評価式 E_2 を表5に示す。表3から共起頻度の評価式 E_1 についてはFrequency orderと比較して、OOSは平均で約2.51%減少したのに対し、Proposed methodは約4.31%減少しているのがわかる。表4より、Proposed methodによる配置はFrequency orderと比較して、共起頻度の高い商品の平均棚間距離が減少し、共起頻度の高い商品がお互いに近くに配置されている。このとき、共起頻度の高い商品のペアほどべき乗則にしたがって伝票に出現する回数が増大するため、総ピッキング経路長に与える影響は大きくなる。一方で表5より注文頻度の評価式 E_2 についてはFrequency orderと比較して、OOSは平均で約1.68%増加したのに対し、Proposed methodは約3.31%増加している。以上により、Proposed methodは注文頻度のある程度犠牲にしながらも、それ以上に共起頻度を配置に考慮することで総ピッキング経路長 P が減少することがわかる。Proposed methodの共起頻度の評価式 E_1 がOOSより減少した要因として、Proposed methodはSOMを用いて商品の共起ネットワーク全体を倉庫のネットワークトポロジーの座標上で動かしていくことで、OOSでは局所解に陥ってしまい十分に配置結果に考慮できなかった共起頻度を効率よく配置結果に反映できたことが挙げられる。また、OOSと比較して注文頻度の評価式 E_2 は増加するが、それ以上に共起頻度の評価式 E_1 が減少したため、総ピッキング経路長 P のがより減少したと考えられる。以上の結果より、Proposed methodは、Frequency method、OOSと比較してピッキング作業の効率化において有効性が高いといえる。

また、図5は、Proposed methodの時間ステップにおける総ピッキング経路長 P 、共起頻度の評価式 E_1 、注文頻度の評価式 E_2 のそれぞれの推移であり、5000ステップ毎に棚への割り当てを行った際の配置の評価を描画したものである。図5より、総ピッキング経路長 P は、はじめの割り当ての際に大きく減少し、以降はゆるやかに

表 2 総ピックアップ経路長 P の比較

	Frequency order	OOS	Proposed method
Order 1	116272	114211 (-1.77%)	113429 (-2.45%)
Order 2	115304	113396 (-1.65%)	112634 (-2.31%)
Order 3	119450	117439 (-1.68%)	116608 (-2.38%)
Order 4	117098	115084 (-1.72%)	114357 (-2.34%)
Order 5	112106	110307 (-1.60%)	109556 (-2.27%)
Average	116046	114087.4 (-1.69%)	113314.8 (-2.35%)

表 3 E_1 の比較

	Frequency order	OOS	Proposed method
Order 1	2717610	2645482 (-2.65%)	2591967 (-4.62%)
Order 2	2718598	2648917 (-2.56%)	2602835 (-4.26%)
Order 3	2791166	2715192 (-2.72%)	2668193 (-4.41%)
Order 4	2743184	2676200 (-2.44%)	2628638 (-4.18%)
Order 5	2641256	2580301 (-2.31%)	2533521 (-4.07%)
Average	2722362	2653218 (-2.51%)	2605030 (-4.31%)

表 4 共起頻度上位の平均棚間距離の比較

	Frequency order	Proposed method	差
上位 1?500	5.99	5.86	0.13
上位 501?1000	9.12	8.67	0.45
上位 1001?1500	10.57	10.03	0.53
上位 1501?2000	11.48	10.87	0.61
上位 2001?2500	12.11	11.38	0.73
上位 2501?3000	13.44	12.59	0.86

表 5 E_2 の比較

	Frequency order	OOS	Proposed method
Order 1	303806	309078 (+1.73%)	315061 (+3.70%)
Order 2	304690	309778 (+1.67%)	315198 (+3.45%)
Order 3	308003	313578 (+1.81%)	318162 (+3.30%)
Order 4	304206	309178 (+1.63%)	313898 (+3.19%)
Order 5	301081	305778 (+1.56%)	309895 (+2.93%)
Average	304365	309478 (+1.68%)	314442 (+3.31%)

減少して収束していくのがわかる。共起頻度の評価式 E_1 はピックアップ経路長 P と同様な減少の傾向であるが、注文頻度の評価式 E_2 は、はじめの割り当ての際に大きく増加し、以降はゆるやかに減少して収束していくのがわかる。よって Proposed method は、はじめに共起頻度の評価式 E_1 、注文頻度の評価式 E_2 が大きく変化した後、両者ともに徐々に減少していくことで解が収束することがわかった。

5. 提案手法におけるパラメータの最適化

提案手法において、「注文商品の共起ネットワークの移動の制限 $R_1(i)$ 」,「共起頻度に関する移動量 $R_2(i)$ 」,「棚に商品を割り当てるステップ数の間隔 T 」の 3 つのパラメータが存在する。共起頻度に関する移動量と注文商品の共起ネットワークの移動の制限のパラメータに関しては、シグモイド関数のゲイン β によって設定される（以下、注文商品の共起ネットワークの移動の制限のゲインを a 、共起頻度に関する移動量のゲイン b とする）。本章では、 a 、 b 、 T の 3 つのパラメータの設定の仕方によって配置結果による総ピックアップ経路長がどのように変化するかを検証する。

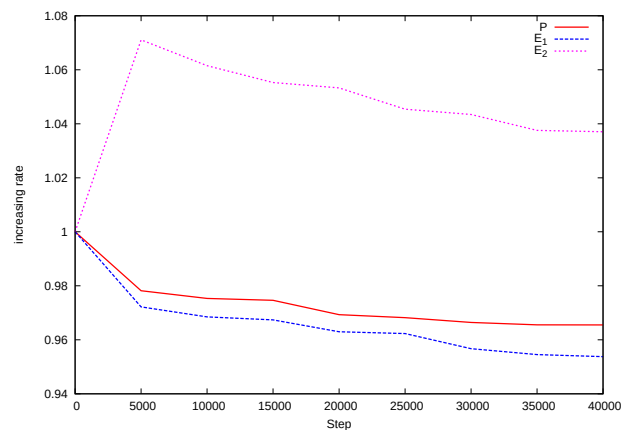


図 5 時間ステップ毎の配置の評価

5.1 実験条件

本実験では、提案手法における 3 つのパラメータについて $a = \{1/270, 1/220, 1/170\}$, $b = \{1/20, 1/10, 1/5\}$, $T = \{2000, 5000, 8000\}$ と設定し、すべてのパラメータの組み合わせで提案手法による商品配置を行う。配置結果から総ピックアップ経路長 P を求め、どのような傾向がみられるかを検証する。実験に用いる伝票、倉庫は 4 章のものと同様のものを用いる。

5.2 実験結果

表 6、表 7、表 8 にそれぞれ T を変えたときの総ピックアップ経路長 P を示す。表 6、表 7、表 8 より、 T による大きな傾向の変化はみられなかった。 a 、 b については 3 つの T すべてにおいて $a = 1/220$, $b = 1/10$ のとき総ピックアップ経路長 P が最小になった。また、3 つの T すべてにおいて $a = 1/270$, $b = 1/5$ のとき総ピックアップ経路長 P が最大になった。 a 、 b のパラメータの変化の傾向について、 a は最適なパラメータの前後は総ピックアップ経路長 P に大きな変化はみられなかった。しかし、 b は最適なパラメータより小さくした場合は総ピックアップ経路長 P に大きな変化はみられないが、最適なパラメータより大きくした場合は総ピックアップ経路長 P に大きな変化がみられた。図 6、図 7、図 8 はそれぞれパラメータ A ($a = 1/220, b = 1/10, T = 5000$) とパラメータ B ($a = 1/220, b = 1/5, T = 5000$) の総ピックアップ経路長 P 、共起頻度の評価式 E_1 、注文頻度の評価式 E_2 の推移を表しており、図 9 は b の変化による共起頻度に関する移動量の変化を表している。総ピックアップ経路長 P について、A はステップが進むに連れて減少していくのに対して、B ははじめに少し減少するが、その後に増加していくことがわかる。共起頻度の評価式 E_1 について、総ピックアップ経路長 P にと同様に A はステップが進むに連れて減少していくのに対して、B ははじめに少し減少するが、その後に増加していくことがわかる。注文頻度

表 6 総ピッキング経路長 $P(T = 2000)$

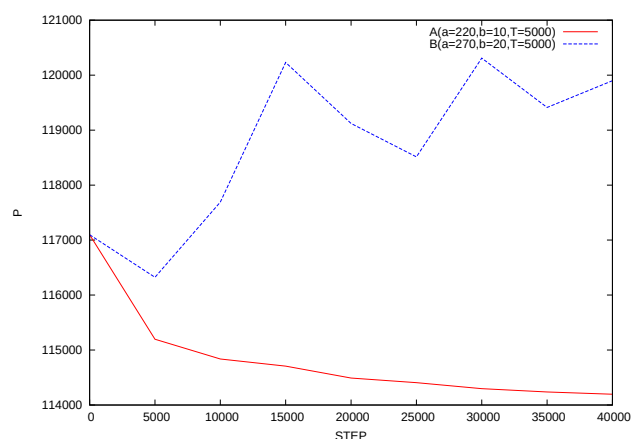
		b		
		1/20	1/10	1/5
a	1/270	115933	115722	120013
	1/220	115664	113453	117612
	1/170	116031	114882	116792

表 7 総ピッキング経路長 $P(T = 5000)$

		b		
		1/20	1/10	1/5
a	1/270	115853	115627	120095
	1/220	115613	113315	117570
	1/170	115973	114742	116765

表 8 総ピッキング経路長 $P(T = 8000)$

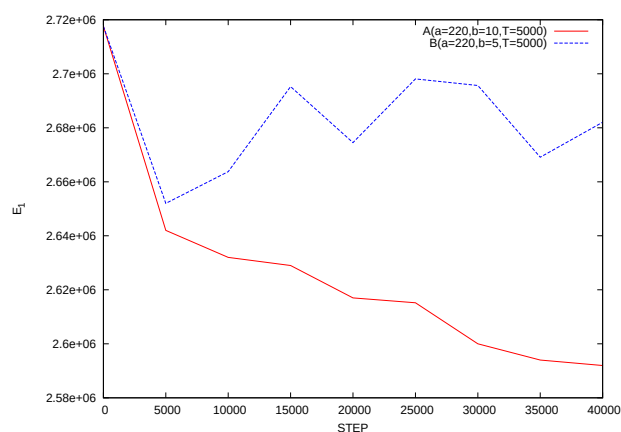
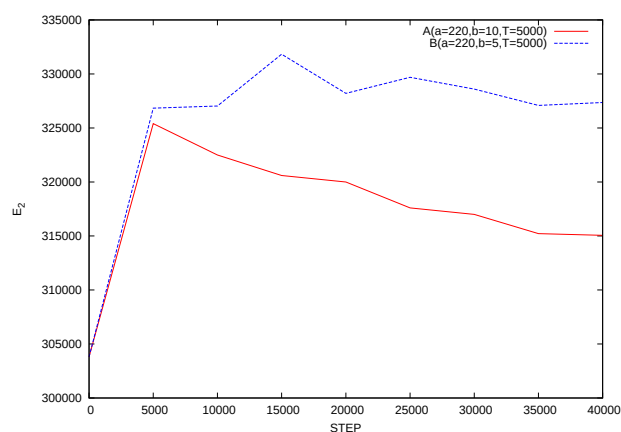
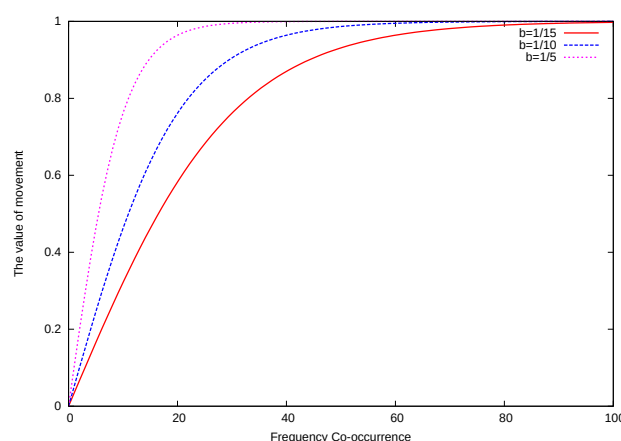
		b		
		1/20	1/10	1/5
a	1/270	115983	115684	120119
	1/220	115696	113372	117589
	1/170	116064	114818	116773

図 6 A, B の総ピッキング経路長 P の推移

の評価式 E_2 について、A ははじめに大きく増加し、以降は減少していくのに対して、B ははじめに大きく増加した後は大きな変化がないことがわかる。これは b を大きくすると、図 9 より、共起頻度に関する移動量を調節する関数 $R_2(i)$ の傾きが急になり、共起頻度に関する移動量に差がつかなくなってしまい、共起頻度を十分に反映することができなくなるためであると考えられる。また、共起頻度による移動が適切に行われなにより、注文頻度の反映にも影響が出ることがわかった。以上により、提案手法における 3 つのパラメータについて、共起頻度に関する移動量のゲイン b を適切に設定することが重要であることがわかった。

6. 結 言

本論文では、物流センター内の全業務の中で最もコストを要しているピッキング作業を効率化するため、商品の注文頻度と共起頻度の 2 つを反映させた商品配置方法

図 7 A, B の E_1 の推移図 8 A, B の E_2 の推移図 9 b の変化による共起頻度に関する移動量の変化

を提案し、その有効性を示した。また、今回提案した手法における複数のパラメータの変化による配置結果の傾向を検証した。結果として、従来経験的に用いられている注文頻度順の配置法と比べ 2.35% の改善を確認し、ま

た, Mantel によって提案されていた OOS よりもよい結果が得られた. 今後の課題として, 今回用いた倉庫と異なる規模, 形状の倉庫において最適なパラメータの傾向を検証し, 最適なパラメータの設定の方法を提案する.

◇ 参 考 文 献 ◇

- [Brynze 96] Brynze, H. and Johansson, M. I.: Storage location assignment: using the product structure to reduce order picking times, *International Journal of Production Economics*, Vol. 46, pp. 595–603 (1996)
- [Coyle 02] Coyle, J. J.: *Management of Business Logistics: A Supply Chain Perspective*, South Western Educational Publishing (2002)
- [Frazelle 89] Frazelle, E. A. and Sharp, G. P.: Correlated assignment strategy can improve order-picking operation, *Industrial Engineering*, Vol. 21, pp. 33–37 (1989)
- [Graves 77] Graves, S. C., Hausman, W. H., and Schwarz, L. B.: Storage-Retrieval Interleaving in Automatic Warehousing Systems, *Management Science May 1977*, Vol. 23, pp. 935–945 (1977)
- [Jarvis 89] Jarvis, J. M. and McDowell, E. D.: The impact of routing and storage policies on warehouse efficiency, *International Journal of Operations Production Management*, Vol. 19, pp. 1053–1064 (1989)
- [Jarvis 91] Jarvis, J. M. and McDowell, E. D.: Optimal product layout in an order picking warehouse, *IIE Transactions*, Vol. 23, pp. 93–102 (1991)
- [Kohonen 96] Kohonen, T.: *Self-Organizing Maps*. Springer, [T. コホネン/徳高 平蔵, 堀尾 恵一, 大北 正昭, 大藪 又茂, 藤村 喜久郎監修『自己組織化マップ改訂版』], SPRINGER (1996)
- [Mantel 07] Mantel, R. J., Heragu, S. S., and Schuur, P. C.: Order Oriented Slotting: A new assignment strategy for warehouses, *European Journal of Industrial Engineering*, Vol. 1, pp. 301–316 (2007)
- [Wäscher 04] Wäscher, G.: Order picking: a survey of planning problems and methods, *Supply chain management and reverse logistics*, Vol. 1, pp. 323–347 (2004)

[担当委員: 鳥海 不二夫]

2014 年 10 月 8 日 受理

—— 著 者 紹 介 ——



南 賢一

1990 年生. 2013 年北海道大学工学部情報エレクトロニクス学科卒業. 同年同大学院情報科学研究科修士課程入学. 精密工学会 会員.



飯塚 博幸(正会員)

2004 年東京大学総合文化研究科博士課程修了. (博士(学術)). 2005 年日本学術振興会特別研究員(PD, はこだて未来大学), イギリスサセックス大学客員研究員, 2008 年大阪大学大学院情報科学研究科助教. 2013 年北海道大学大学院情報科学研究科准教授. 専門は人工生命, 複雑系科学, 人間情報工学.



古川 正志

1948 年 12 月 6 日生. 1973 年北海道大学大学院工学研究科修士課程修了. 1996 年同教授. 2006 年北海道大学大学院情報科学研究科教授, 2013 年北海道情報大学教授. 自己組織化による超高速組み合わせ最適化問題の解法の開発, 複雑システムの研究, 等に従事. 2000 年 FAIM2000 貢献賞, 2004 年 ANNIE '04 The First Runner-Up Award, 等受賞. 日本機械学会(フェロー), 精密工学会, 情報処理学会, 計測自動制御学会などの会員. 工学博士(北海道大学)ネットワーク等の研究に従事. 情報処理学会, 日本機械学会(フェロー), 精密工学会, 各会員.



山本 雅人(正会員)

1968 年生. 1996 年北海道大学大学院工学研究科システム情報工学専攻博士後期課程修了. 同年日本学術振興会特別研究員(PD). 1997 年北海道大学大学院工学研究科助手. 2000 年同大学院工学研究科助教授. 同大学院情報科学研究科助教授を経て 2012 年同大学院教授. この間, 科学技術振興機構さきがけ研究員, デューク大学客員研究員. 博士(工学). ゲームプログラミング, 複雑ネットワークの研究に従事. 情報処理学会, 計測自動制御学会, などの各会員.