

深度カメラを用いた ピッキング工程における作業ミス検知システム

宇田吉広^{†1} 吉田和広^{†2} 村田嘉利^{†1}

物流事業における配送センタや自動車組立工場におけるオフラインピッキング工程では、人が指定された棚の間口から物品を取り出して別の箱に仕分けるピッキング作業が広く行われている。ピッキング作業において、指定された間口以外から物品を取り出した作業ミスを後工程で検出しようとする、多大な労力が必要となる。本論文では、深度カメラとして Microsoft 社の Kinect を使用することで、既導入の取り出す間口を表示するデジタルピッキングシステムになんらの修正を施すことなく、作業ミスを検知するシステムを提案する。プロトタイプシステムを作成し、実験室の他、実稼働している自動車組立工場の生産ラインやデジタルピッキングシステムを開発している企業の評価設備に持ち込み、性能評価した結果、良好な性能であることが確認された。

Operation Error Detection System in Picking Processes by Camera Depth Sensors

YOSHIHIRO UDA^{†1} KAZUHIRO YOSHIDA^{†2}
YOSHITOSHI MURATA^{†1}

The picking process to take out goods from a designated slot of a rack and put them into a tray is widely used in distribution centers of logistics as well as off-line picking sections of automotive plants. Picking error detection in post-process requires a lot of man-power. This paper proposes an operation error detection system utilizing MS-Kinect as depth sensors. The system is easily equipped to the existing digital picking system which illuminates lamps to indicate the right slot of a rack. Performance tests for the developed prototype were carried out not only in the laboratory but also in an automotive assembly plant in operation and an evaluation room of a digital picking system vendor. The developed system showed high performance to detect picking errors and applicability for fool-proofing systems in the picking process.

1. はじめに

物流事業における配送センタでは、倉庫から搬出された物品が棚に収容され、作業者が指定された物品を棚の間口から取り出してトレイへの仕分を行うピッキング工程がある。大規模な物流センタでは、ピッキング工程が作業全体の 60-70% を占めるといふ報告があり、非常に重要な工程である[1]。同様のピッキング作業は自動車工場などの製造業でも広く用いられている[2]。

ピッキング工程で作業ミスが生じると、要求されたものとは異なる物品を次の工程に渡してしまうことになる。後工程でこの作業ミスを検知しようとする、多大な労力を必要とする。作業ミスを防止するには、以下の手順が重要である[3]:

- 作業者に対してどの間口から物品を取り出すかを指定
 - 指定した間口から正しく物品を取り出したか否かの確認
 - 所定のトレイにピッキングした物品を入れたことの確認
- a. の取り出す間口の提示については、いろいろな製品や

先行研究がある。例えば、株式会社アイオイ・システムのライトモジュールは、棚の間口に取付けたランプを点滅させ、作業者に物品を取り出す間口を示す。作業者は指示された個数取り出した後、スイッチを押してランプの点滅を消し、指示された間口にアクセスしたことを確認するシステムである[4]。b. の作業者が指定された間口から物品を正しく取り出したか否かの検知は、これまでの研究では実現できていない。また、c. の取り出した物品を正しいトレイに入れたか否かの検知については、製品レベルはもとより研究レベルでも報告がない。

本研究では、Microsoft-Kinect を利用することでピッキング作業ミスを検知するシステムを開発し、その性能評価を行った。評価実験は大学の実験室の他に、実稼働している自動車組立工場の生産ラインとデジタルピッキングシステムを開発している企業の評価設備で実施した。いずれの実験でも部品取り出しのために手を入れた間口を 100% に近い確率で検知できた。システム構成およびその性能評価について報告する。

第 2 章では、関連研究について述べ、第 3 章では、ピッキング作業ミス検知システムの構成について詳述する。第 4

^{†1} 岩手県立大学 大学院 ソフトウェア情報学研究科
Graduate School of Software and Information Science, Iwate Prefectural University

^{†2} 岩手県立大学 ソフトウェア情報学部
Faculty of Software and Information Science, Iwate Prefectural University

章では、実験室で行ったシステムの評価実験とその結果について述べる。第5章では、稼働中の自動車工場などで実施した試作システムの評価実験と評価結果について述べ、最後に第6章でまとめる。

2. 関連研究

株式会社アイオイ・システムが提供している L-PICK システムのライトモジュールでは、物品を取り出す棚の間口ごとにランプスイッチと数字表示器を取り付ける。作業者は、ランプが点滅している間口から物品を表示器に示された個数取り出したら、スイッチを押して点滅を消す。類似の機能を持つ製品は国内外で各社から供給されている[5]。

これらのシステムでは、正しい位置の間口から指定した個数を取り出したか否かの確認はできない。また、作業者が指示された間口を勘違いして別の間口から取り出したときのミスは指摘できない。

このような Digital picking system とは別に、透過型ヘッドマウントディスプレイを利用してピッキングする部品棚を示すシステムが提案されている。Schwerdtfeger らは、Augmented Reality 技術を応用して透過ディスプレイ上に取り出す間口を指し示すフレームを表示するようにしている[6]。また、山崎らは HMD(Head Mount Display)による MR(Mixed Reality)技術を用いて、対象となる物品の強調や誘導を行っている[7]。Baumann らは、HMD 上に取り出す間口を表示するとともに、正しく取り出し作業をしたか否かを LRF(Laser Rangefinder)で確認するシステムを提案しているが、LRF は作業ミスの検出に十分な効果が得られなかったと言っている[8,9]。佐藤らは、地磁気センサを利用して、地磁気の変化から自動車組み立て工場における部品の組み付け作業をトレースしている[10]。組み付け工程は、身体の回転運動が大きく、それに伴う地磁気の変化も大きいことから、どの位置の組み付けを行っているかを検知可能である。一方でピッキング作業は物品を取り出す間口の位置はそれぞれに異なるが、身体の動きに大きな違いが見られないことから、地磁気の変化を利用してどの間口から取り出したかを検知するのは困難である。

Leap motion controller は、半径 0.5m 程度の範囲で指の位置を高精度に検知できるが、開口面が数 m ある部品棚を対象にするのは不可能である[11]。超音波を利用して手の位置を計測することは可能であるが、まだ研究レベルであり、実験に利用できるデバイスが提供されていない。

3. 作業ミス検知システムの構成

3.1 ピッキング工程と作業ミス検知に要求される機能

物流事業における配送センタでは、倉庫や配送車両から搬出された物品が所定の棚の間口に収容され、作業者が注文を受けた物品を棚の間口から取り出してトレイへの仕分を行うピッキング作業を行う。指定と異なる物品を取り出

して仕分けるなどの作業ミスを後工程で検知するには多大な労力が必要になるため、ピッキング工程内でミスを検知するのが望ましい。作業者は指定された棚の間口がランプの上側か下側かなど、思い込みや錯覚で別の間口から物品を取り出してしまうことがある。作業ミスをその場で検知して注意を促すシステムには以下に示す機能が必要である：

- 作業者の手を追跡して、物品を取り出す動作をモニタする。
- 手が間口に入ったことを確認する。
- 間口から物品を取り出したことを確認する。

本研究では、a と b の機能の実現を目的とする。c については、既存のデジタルピッキングシステムが提供する機能を利用して、間口に設けられている確認ボタンを作業者が押すことで代用できると考えた。

3.2 システム構成

本研究では、物品を取り出す間口の指示機能は、前述のランプモジュールなどにゆだね、作業ミスの検知機能を追加したシステムを提案する。作業ミスの検知のために棚から物品を取り出す手の動きを検出する必要がある。深度センサについては、前章で述べたように Leap motion controller では検知範囲が狭すぎ、適当な超音波測位デバイスもないことから Microsoft Kinect for Windows(以下は MS-Kinect)を利用する[12,13]。作業者の身体やカートが MS-Kinect の視界を遮ると部品を取り出す手を追跡できない。極力死角を減らすために2台の MS-Kinect を左右から棚を眺める位置に設置する。これらの Kinect は1台の PC で制御する(図1)。

物品を取り出す手の検出と追跡には、作業者の手にはめた軍手の色を利用する。軍手は、物品や棚の周囲環境に含まれない色を選ぶとともに、照明による認識率の低下が少ない色とする。色の選定についての詳細は、4.2.6 節に示す。

軍手の動きを追跡するために、予め軍手の色の登録を行う。MS-Kinect のカラーカメラ画像情報を HSV 表示系の色相、彩度、明度に分割し、明度と彩度のパラメータを手動で調整することにより軍手の色のみを抽出するマスクを作成する。このマスクを用いてカラーカメラ画像の中から追跡する領域を絞り込む。色の追跡は OpenCV の cvCamShift 関数を用いて、軍手の色のヒストグラムと一致する場所の座標と領域を求めている。

棚の間口に手を入れたことを検出するために MS-Kinect の深度カメラを利用して、Depth センサ面から手(軍手の色)までの距離を求める。距離の測定は、MS-Kinect のカラーカメラで求めた色の一致領域に対応する ColorFrame 座標を DepthFrame 座標に変換し、深度カメラのデータから軍手と MS-Kinect との距離を読み取ることで実現している。これらの処理は MS-Kinect に接続した PC で行う(図2)。

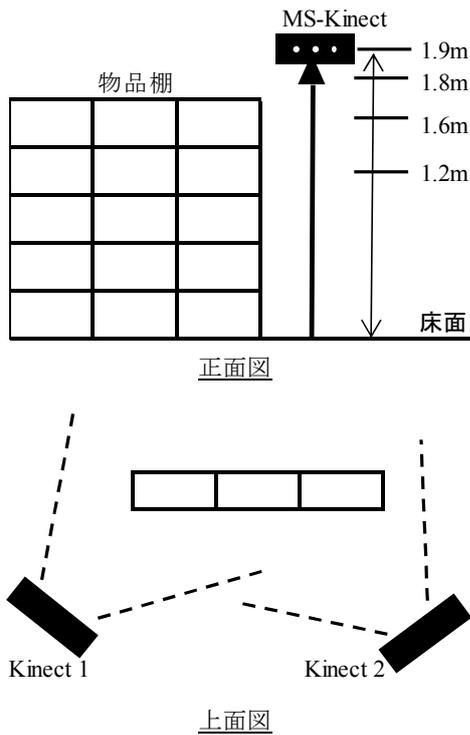


図1 実験システムの構成

Figure 1 Experiment system configuration

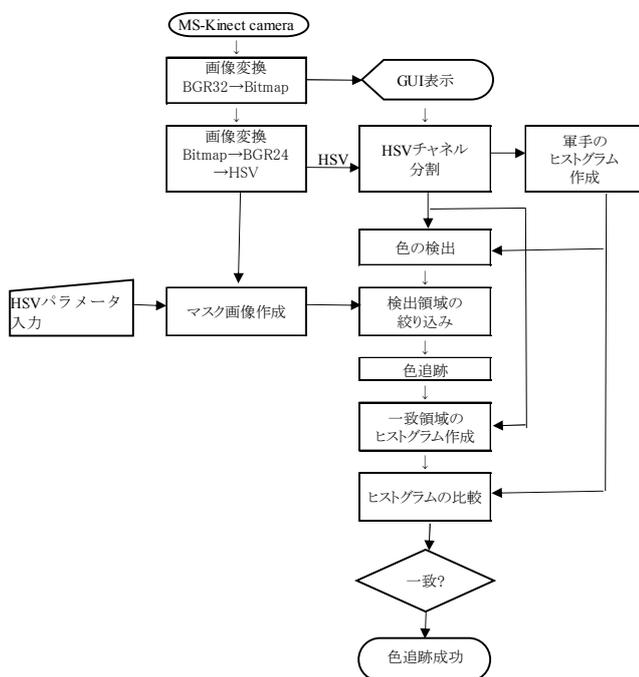


図2 軍手の色追跡処理

Figure 2 Flowchart for the color trace of work grooves

図3に示すように、事前に部品棚の間口の四隅の位置を登録することにより間口とMS-Kinectの距離を記録しておく。MS-Kinectから見た各間口の距離と手の距離を比較することで手がいった間口を検出する。

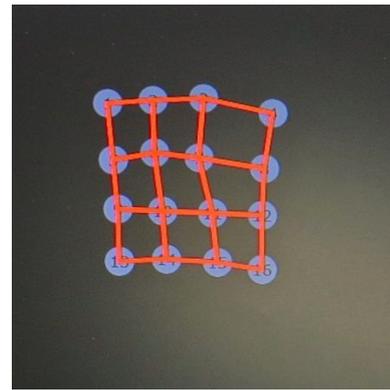


図3 間口の登録画面

Figure 3 Slot corner record on PC display

本システムの適用現場は、配送センタや自動車組立工場などが想定される。これらの建物には窓はほとんどないため、直射日光の影響は受けないと考えられる。

3.3 画像ノイズの影響の除去

MS-Kinectから取得したカラーカメラの画像データには一般的にノイズが含まれることがある。ノイズの色は不定であり、使用している軍手の色と近いノイズが混入することがある。そのようなノイズが検知対象としている間口の領域の中に発生すると、該当する間口から部品を取り出したと誤検知をしてしまう可能性がある。そこで、以下の3つのノイズ除去処理を併用し、誤検知対策とした。

(1) 位置の連続性による判断

ノイズが発生する位置は不定であるが、同一の場所で何度も連続して発生することは稀である。このことから、同一の場所である一定の回数分、連続して軍手の色を検知しなければ、部品の取り出しとはみなさないことにした。後述の評価実験では、判定回数を5回としている。

(2) 時間間隔による判断

上記の処理を施しても時として、同一の場所に短時間に繰り返しノイズが発生することがある。この対策として、間口の領域内でノイズを軍手と検知しても、前回の部品取り出しから一定時間が経過していない場合は、部品の取り出しとはみなさないこととする。後述の評価実験では、判定時間を0.25秒としている。

(3) 画像全体に対するメディアンフィルタを使った平滑化処理

画像の平滑化は、ぼかし処理とも呼ばれ、ノイズを除去するために使われる手法である。平滑化の手法はいくつかあるが、本システムでは、周辺から大きく孤立した画素(ショットノイズ)が多い画像に強いとされているメディアン平滑化を採用した[14]。具体的には、対象画素の周囲にある8画素を昇順、あるいは降順にソートし、中央の値(平均値ではない)を新しい画素値とするメディアン平滑化を行った。MS-Kinectに映る軍手の画像が小さいときにメディ

アン平滑化によって軍手の色がつぶされないように、メディア平滑化に使用する範囲は最小に選んだ。そのため、サイズの大きいノイズは除去できない。

3.4 ダブルカウントの防止

今回の軍手の色を認識する方法では、図4に示すような容器(container)に部品を入れる場合、カメラが一瞬軍手を見失った後、再び軍手を認識する可能性がある。その場合は、ダブルカウントが起きる(2回同じ間口に手を入れてと誤検出)。これを防止するため、一定時間内に軍手を同じ場所で再認識した場合には、それをカウントしないアルゴリズムを導入した。後述の評価実験では、0.75秒としている。

4. 実験室環境でのピッキング実験と計測

4.1 評価環境と計測方法

プロトタイプシステムの性能確認のために、実験室で予備評価実験を行った。部品棚の9個の間口に物品箱を置き、それぞれに物品として10個のペットボトルを入れた。各間口からペットボトルを1つずつ取り出すことを10回繰り返す実験を行った。部品棚の大きさは、幅1.2m x 高さ1.6m x 奥行き0.8mで、間口は、幅約360mm x 高さ約460mmである(図4)。

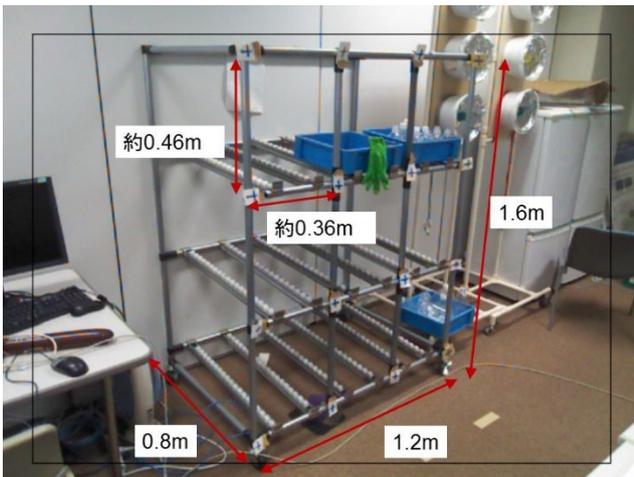


図4 実験に用いた部品棚

Figure 4 Parts rack for the experiment

MS-Kinectは、作業者の身体に遮られて手が間口に入る場面が隠れることが少なく、全ての間口で手をできるだけ大きく撮せる位置を選んで設置した。棚の側面から1m離れ、棚の前面からは1.3mの位置である。MS-Kinectの床面からの設置高は、作業者の身長に対して最適値が存在すると考え、高さを変えて測定することにした。

部品棚の各間口に対して物品取り出し検知数と誤検知数の実験結果を図5のように整理した。

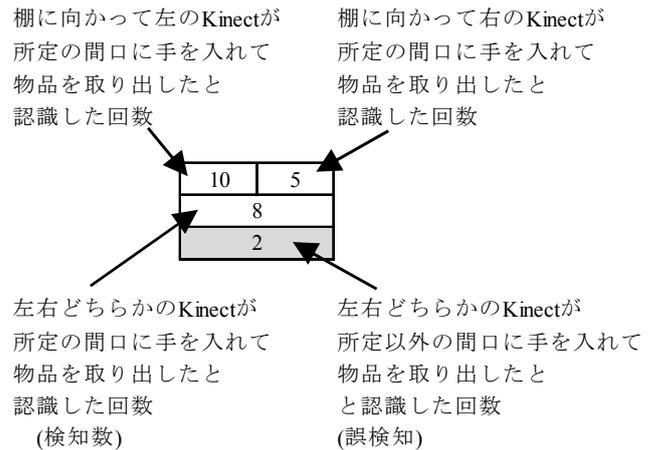


図5 実験結果の表記

Figure 5 Experiment data table format

4.2 軍手の色の影響

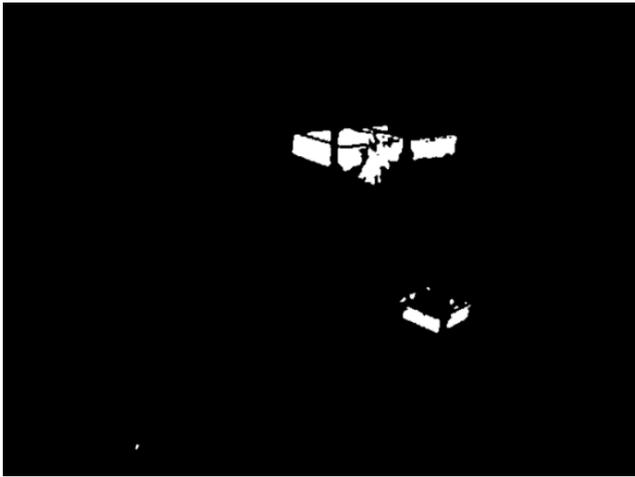
軍手については「白・黒・青・緑・黄緑・黄・赤・オレンジ・ピンク」の9種類の色の軍手のなかから最も検知率が高く、また誤検知率の低いものを選択することにした。

軍手の色を変えてマスク処理を行った画像について説明する。白、黒、緑の場合、図6(a)に示すように軍手だけを抽出することができなかった。青では、図6(b)に示すように部品入れの箱が同色であったため、箱と軍手を区別できなかった。ピンクの場合は背景の壁を誤検知することがあった。オレンジ、黄、ピンクは棚の右隣にある実験用信号機の一部を図6(c)のように誤検知した。黄緑では、図6(d)のように軍手だけを抽出できた。これらの結果から、以後の実験では表1にまとめたとおり、黄緑・黄・赤・オレンジの4色を用いることにした。



(a) 白の軍手 (軍手を明確に識別できず)

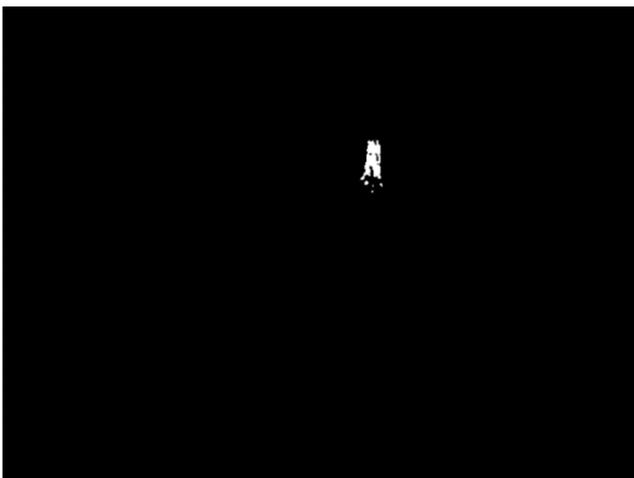
(a) White grove



(b) 青の軍手(棚と軍手が区別できず)
 (b) Blue grove



(c) オレンジの軍手(隣の信号機を誤検出)
 (c) Orange grove



(d) 黄緑の軍手 (軍手のみを正しく検出)
 (d) Yellow-green grove

図 6 軍手の色に対するマスク処理結果
 Figure 6 Masked images for different color groves

表 1 軍手の色に対する検出結果の違い

Table 1 Detection results for nine color groves

軍手の色	軍手のみの検出	周囲の色の誤検出	実験に使用
白	不可能	—	
黒	不可能	—	
青	可能	あり	
緑	不可能	—	
黄緑	可能		可能
黄	可能	あり	可能
オレンジ	可能	あり	可能
赤	可能		可能
ピンク	可能	あり	

6	9	9	9	9	5
9		11		9	
1		0		1	
7	9	7	4	9	4
9		9		10	
0		0		1	
4	10	10	8	9	4
10		10		9	
0		0		0	

図 7 実験結果 (軍手:黄色)

Figure 7 Experiment data for yellow grove

図 7 は、一人の被験者が黄色の軍手をつけ、MS-Kinect の設置高を 1.9m としたときの実験結果である。上段中央間口のデータに着目すると、左右の Kinect の検知数はそれぞれ 9 であるにもかかわらず、検知数は 11 となっている。これは、いずれかの MS-Kinect がダブルカウントを 1 回したためである。また、中段右間口では、検知数が 10、誤検知数が 1 となっている。これは、10 個の部品の取り出し全てについて左右いずれかの MS-Kinect は該当する間口から物品を取り出したと認識しているが、別の Kinect が 1 回別の間口を認識してしまったことを意味している。

4.3 MS-Kinect の設置高による影響

MS-Kinect の設置高の適正領域を求めるため、4 つの設置高で物品の取り出し実験を行った。被験者の身長は 1.76m である。設置高は、下記のように選定した:

1.2m: 棚の高さより若干低い位置

1.6m: 棚の高さと同じ

1.9m: 棚の高さより若干高い

1.8m: 1.9m は高すぎるとの意見があり、追加設定。

実験に利用した軍手は、前節で述べたとおり黄緑を使用した。実験結果を図 8 に示す。設置高 1.6m と 1.8m が良好であることがわかる。1.2m では、誤検知は起きていないが、間口が被験者の影になりやすいために検知率が低下

している。この高さでは、被験者の身長によらず検知性能が劣ると考えられることから、以降の複数の被験者による性能評価には不採用とした。1.9mについては、誤検知率が高くなっているが、被験者の身長に依存する可能性があることから、以降の性能評価においても採用することにした。

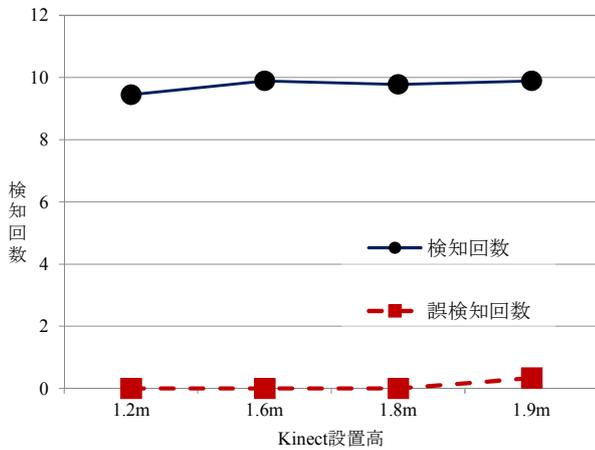


図8 Kinectの設置高に対する物品取り出しの検知数および誤検知数

Figure 8 Numbers of detections and errors vs MS-Kinect elevations

軍手の色と Kinect の設置高をパラメータとして検知数と誤検知数をまとめた実験結果を表2と表3に示す。数値は、9 個の間口の平均である。結果に大差はないが、検知数については黄緑が最も高く、次が赤という結果になった。誤検知については、赤が最も低く、次いで黄緑であった。検知数を高く取ることを優先し、以後の実験では黄緑を使用した。なお、MS-Kinect の設置高については、身長 1.76m の被験者に対しては 1.6m と 1.8m が良好な結果であった。

表2 検知数 (9 間口の平均値)

Table 2 Numbers of detections

Kinect高 (m)	軍手の色			
	黄緑	黄	赤	オレンジ
1.6	10	9.7	9.6	9.9
1.8	9.9	9.4	10	10.1
1.9	10	9.6	9.4	9.6

表3 誤検知数 (9 間口の平均値)

Table 3 Numbers of errors

Kinect高 (m)	軍手の色			
	黄緑	黄	赤	オレンジ
1.6	0	0	0.11	0.22
1.8	0.2	0.67	0	0.22
1.9	0.3	0.33	0.22	0.33

4.4 実験室環境での評価実験1 (作業動作を指定しなかった場合)

5 人の被験者による部品の取り出し実験を行った。黄緑の軍手を使用し、MS-Kinect の設置高は 1.6m, 1.8m, 1.9m の 3 段階でデータを収集した。各間口での部品取り出し回数は 10 回である。各被験者の取り出し検知数と誤検知率を表4に示す。各値は、9 個の間口のデータの平均である。

本実験では、間口から部品を取り出す際の動作について指示しなかったことから、被験者による検知数、誤検知数のばらつきが大きかった。被験者 A は、棚の前で左右に足を動かさず、間口の位置に対して無理な姿勢で作業をしていた。そのため、MS-Kinect の画像では手が身体の影になることが多く、検知回数が低くなった。また、手が他の間口の前を通過することが多かったことから、誤検知率も高くなった。被験者 B, C, D は、適正な動作速度で間口の正面から部品を取り出したため、検知数は高く、誤検知数が低かった。被験者 E は、部品を取り出した後、他の間口の直前を通るように手を移動させることが多かったため、他の間口を誤検出する頻度が高かった。被験者 F は、部品を取り出す動作が他の被験者よりも遅く、部品を取り出す動作がダブルカウントにつながっていた。

表4 部品取り出し検知数と誤検知率 (動作を指示せず)

Table 4 Numbers of detections and errors before action guidance

被験者	被験者の身長 (m)	Kinect設置高			
		1.6m		1.8m	
		検知数	誤検知率	検知数	誤検知率
A	1.74	9.2	0	8.8	0.44
B	1.7	10	0	9.9	0.33
C	1.62	9.8	0.11	9.8	0.11
D	1.75	10	0	9.9	0.11
E	1.66	9.6	0.22	9.7	1.78
F	1.69	10.4	0	10	0.44
平均	1.71	9.83	0.055	9.68	0.54

4.5 実験室環境での評価実験2 (作業動作を指定した場合)

前節の実験データを基に、各被験者に下記の制約条件を伝えた上で、前節と同様の実験を行った。

- 間口から部品を取り出す前に、該当する間口の正面に身体を動かす。
- 間口から部品を取り出す際は、遅すぎない速度で手を入れ部品を取り出す。
- 間口から部品を取り出した後は、間口の開口面に対して垂直方向に手を動かし、部品を置く。

実験結果を表5に示す。被験者 G 以外は、非常に高い精度で部品取り出しを検知できたうえ、誤検知率も低かった。被験者 G は、実験が進むにつれて制約条件を忘れ、制約から外れる動作をしていた。なお、誤検知については、MS-

Kinect の設置高 1.8m の方が 1.6m よりも若干少ないという結果が得られた。今回の実験では、被験者の身長は 1.6m から 1.8m の間であったが、MS-Kinect 設置高と身長との間に大きな相関は見られなかった。

表 5 部品取り出し検知数と誤検知率 (動作指示あり)

Table 5 Numbers of detections and errors after action guidance

被験者	被験者の身長 (m)	Kinect設置高			
		1.6m		1.8m	
		検知数	誤検知率	検知数	誤検知率
A	1.74	10	0	10	0.11
F	1.7	9.9	0	10.1	0.33
G	1.62	9.9	0.11	9.6	0.44
H	1.75	10	0	9.9	0
I	1.66	10.1	0	10	0
平均	1.69	9.98	0.022	9.92	0.176
Gを除く平均	1.71	10	0	10	0.11

5. ピッキング検知システムの評価実験と結果の分析

5.1 自動車組立工場における評価実験

5.1.1 実験の目的と実験環境

提案システムの動作検証を実環境で行うことを目的として、自動車組立工場での評価実験を行った。

トヨタ自動車東日本株式会社の岩手工場にある車体組立ラインに実験機器を設置した。ラインの作業には通常の作業用軍手の代わりに黄緑色の軍手を着用してもらい、実際のピッキング作業を行う過程で、手の動きが認識できるかを評価した。作業場の照明、部品トレイや部品棚等は、通常の作業環境そのものであり、MS-Kinect や PC を設置した点と、実験用の軍手を装着して作業したことだけが本実験のための変更点である。機材の設置後の予備実験で、黄緑であれば周囲の棚や部品の色と区別でき、手の動きが認識できることを確認した。

図 9 に台車の通路と部品棚の位置関係を示す(上から見た図)。部品棚は通路の両側に置かれ、作業者は部品トレイを載せた台車を押しながら進行方向右側の部品棚 1→2→3→4 の順でピッキングを行っていく。ランプの点灯している間口から部品を取り出し、ランプを消してから取り出した部品を部品トレイに入れる。これを繰り返して片側の部品棚からピッキングを終えた作業者は、台車の反対側に回り、これまでとは逆方向に台車を移動させながら、右側の部品棚 5→6→7 の順でピッキングを続ける。出発点に戻った時点で、ピッキング工程が完了となる。今回の検知システム実験は棚 7 を対象とした。Kinect は棚 7 の対向面にある棚 1 と 2 の間の支柱および棚 2 と 3 の間の支柱に沿わせ

て、高さ約 1.6m の位置に設置した。設置位置は台車や作業者の移動を妨げないことと、実験対象の棚が Kinect の視界に入る位置であることから決定した。

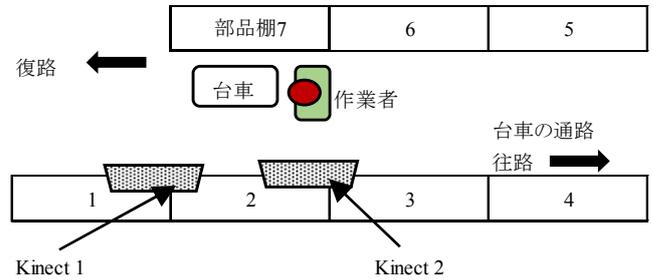


図 9 自動車組立工場での実験環境 (上面図)

Figure 9 Experimental setup at the automotive assembly plant (top view)

A1	B1	C1
A2	B2	C2
A3	B3	C3
A4	B4	C4

図 10 部品棚 7 の間口 (正面図)

Figure 10 Parts slots of the rack 7

図 10 に検証実験の対象にした棚 7 の間口の配列を示す。間口が縦に 4 個、横に 3 個ある。実験システムは縦横各 3 個の間口まで検知可能であるが、今回の設置環境では Kinect と棚との距離が十分に確保できず、横方向に間口 3 個分を見渡すことができなかつたため、横方向を 2 個分に限って開口 A1 から A3 と開口 B1 から B3 を検知実験の対象とした。図で網掛けした開口が実験対象である。実験中は部品を取り出す間口を指示するランプの点灯状況や作業者の動作を観察し、MS-Kinect と PC でカウントした結果との照合を行った。

ピッキング工程の商用ラインで商用部品と棚を使つての検証実験であるため、実験室で行つたように全ての間口から等しい回数で部品を取り出すような評価はできなかつた。限られた時間内では、試行回数が制限されること、ピッキングの対象にならない間口が実験対象に含まれたことなどから十分な定量評価はできなかつた。

5.1.2 実験結果

表 6 に実験結果の集計を示す。上段の「検知すべき数」は、ランプが点灯した間口から実際に部品を取り出した回数で、下段は試作システムが自動検知した回数である。

実験は工程の切れ目を挟んで各 3 回繰り返し合計 6 回実施した。C1 から C3 の間口は実験対象外であり、部品の取

り出しは認識していないが、隣接する B の間口との誤検出を観測するために、データを記録した。

表 6 自動車工場での実験結果の集計

Table 6 Experimental results at the automotive assembly plant

間口	A1	B1	C1
検知すべき数	7	1	0
検知数	8	2	0
間口	A2	B2	C2
検知すべき数	5	4	0
検知数	5	4	0
間口	A3	B3	C3
検知すべき数	6	5	0
検知数	6	6	0

3 つの間口で生じた誤検出について、目視で確認した作業者の動作の情報も加味して分析を行った。

- 要因 1: 間口 A1 で発生した誤検出は、部品を覆っているトレイのカバーを右手で持ち上げる動作を認識した後、実際に部品を取り出す動作を認識したことによるダブルカウントであった。
- 要因 2: 間口 B3 での誤検出は、部品を取り出す動作を認識した後、部品トレイが空になった際に取り出す「カンバン」と呼ばれる伝票[15, 16]を同じ間口から取り出す動作を認識したもので、これもダブルカウントになった。
- 要因 3: 間口 B1 での誤検出は、上記の要因とは全く異なる現象であった。作業者が右手を間口 A1 に向けて移動させる際に、手の動きが棚に平行になり、間口 B1 の直前を右手が横切る形になったときに、この棚から部品を取り出したと誤って認識したものである。

5.1.3 実験結果に対する考察

工場での実験は、無理をお願いして稼働している生産ラインを利用して実施した。そのため、時間的制約から 6 回で終了した。軍手の色など、設置時に確認した部分については、実験中も問題なく動作することが確認された。今回は、4.5 節で述べたような作業動作については作業者に伝えず、通常の作業動作の中での検知状況を調査した。取り出しの際の動作を改善すれば、ランプが点灯していない間口から誤って部品を取り出したと認識するような誤検出は大幅に減ると考えている。

商用ラインで発生した誤検出の要因について考察した結果を以下にまとめる。

要因 1 および 2 は部品以外の品物に触れるなど、部品の取り出しに類似した手の動きが 2 回以上起きることがあることを予備実験では考慮していなかったため、ダブルカウントを防ぐ仕掛けが用意できていなかった。Photo interrupter

などの光電検出方式(光路を手や部品が遮ったことで動きを検出)の場合もこの種の手の動きはダブルカウントにつながるため、画像認識方式に特有の問題とは言えない。この点は、製造ラインや棚ごとに違いのある作業者の動きを盛り込んだ検出のアルゴリズムを追加することで回避できると考えられる。

要因 3 は、予備実験でも確認していたように、他の間口を横切るような棚に平行な方向には右手を動かさないように作業者に指示することで回避できると思われる。

実際の製造ラインを観察すると、今回の実験で使用した開口面が一平面内になる部品棚以外に、棚自体が手前側に傾斜していて部品を取り出しやすくしたものや、棚の開口部に段差を設けて、上の棚ほど開口部が奥にあるものなど、さまざまな形状の棚が用いられていた。これらの棚にも対応するためには、MS-Kinect の depth 機能による間口の位置の検出を開口面より奥を狙えるようにするなど、実態に即した条件設定が必要である。また、今回の実験のように作業者が台車を押して移動させながらピッキング作業を行う場合は、死角が生じにくいいため MS-Kinect は一台でも検知システムの構築が可能と考えられる。

5.2 デジタルピッキングシステム評価設備での実験

5.2.1 実験の目的と実験環境

自動車組立工場などで広く使われているデジタルピッキングシステムでは、棚の間口にランプを設けて物品を取り出すべき間口を表示している。このシステムを提供している企業(アイオイ・システム)の評価設備においてデータ収集を行った。物品棚とデモ用の物品は評価設備に備えつけの機材を借用した。棚は床からの高さ 1.58m、横幅 1.2m であり、間口は 3×3 で間口の幅は 380mm、高さは 310mm であった。最下段の間口の下縁は床から 460mm ほど離れた位置にある。持ち込んだ MS-Kinect は対向する物品棚の支柱を利用して 1.8m の高さに設置した。この実験では 3x3 の間口全てを対象にした。評価設備はショールームを兼ねた環境であり、蛍光灯による室内の照明は自動車工場よりも明るく、色の判別が容易であった。

5.2.2 実験結果と分析

当初はこれまで実績の豊富な黄緑の軍手でピッキング実験を行った。結果を表 6 に示す。実験をお願いした評価担当者が軍手の色の選定自由度について深い関心を示されたため、軍手をオレンジに変えて実験を行った。対象色の変更は、現地でフィルタのパラメータを最適化することで対応した(図 11)。オレンジの軍手に対する実験結果を表 7 に示す。ダブルカウントが間口 B1 と C3 で各 1 回発生し、間口 A3 と B3 では検知ミスが起きた。ダブルカウントは被験者の手が棚の開口面に平行に動いたことによる。また、評価設備の設置場所の都合で、Kinect 1 の視界が被験者の身

体で遮られることが多く、大半の判定を Kinect 2 に依存する結果になったことが検知ミスの要因と考えられる。これらの要因は黄緑の軍手での実験でも同様に存在したので、軍手の色を変えたことが要因ではない。むしろ、現地の状況に合わせて適切な軍手の色を選択することで、柔軟に対応できるシステムであることが立証できたとと言える。



図 11 ピッキングシステム評価設備での実験風景
 Figure 11 Experimental setup at the digital picking system evaluation room

表 6 黄緑の軍手による実験結果

Table 6 Experimental results for yellow-green groves

間口	A1	B1	C1
検知すべき数	4	4	4
検知数	4	5	4
間口	A2	B2	C2
検知すべき数	4	4	4
検知数	4	4	4
間口	A3	B3	C3
検知すべき数	4	4	4
検知数	4	4	5

表 7 オレンジの軍手による実験結果

Table 7 Experimental results for orange groves

間口	A1	B1	C1
検知すべき数	3	4	3
検知数	3	5	3
間口	A2	B2	C2
検知すべき数	2	4	3
検知数	2	4	3
間口	A3	B3	C3
検知すべき数	3	3	3
検知数	2	2	4

6. まとめ

色つきの軍手と MS-Kinect を利用したピッキング工程における作業ミス検知システムを提案した。プロトタイプを作成して、軍手の色や物品棚から物品を取り出す際の動作など、実験室で条件の最適化を行った。これらを踏まえて、商用稼働している自動車組立工場のラインおよびデジタルピッキングシステムを開発している企業の評価設備において実証実験を実施した。作業者の動作に注文をつけずにデータ取得を行ったことから、4.4 節と同じ誤検知が発生していた。このことから、4.5 節に示したように作業動作を見直せば誤検知の問題はほぼ解決すると考える。

既存のデジタルピッキングシステムには何ら変更を加えず、本システムに標識ランプの位置を識別する機能を追加するだけで、物品を誤った間口から取り出した可能性があるというアラームを発生し、作業者に注意を促すことが可能になることが確認できた。

本研究は、物流事業における配送センタや各種組立工場におけるオフラインピッキング等、非常に幅広く適用が可能である。Amazon 等に見られる自動倉庫[17, 18]や物品配送ロボットなどのシステムにおいても、最終的に物品を棚から取り出す作業は機械化されず、作業者にゆだねられていることから、作業ミス検知システムは有用である。今後、さらに広い応用が期待できるものと考えている。

謝辞

実験環境を提供いただき、ピッキング工程に関する情報をいただいたトヨタ自動車東日本株式会社の鈴木 潤主任、株式会社アイオイ・システムの吉川孝道取締役様に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) Henn, S et al : Metaheuristics for the Order Batching Problem in Manual Order Picking Systems, Working Paper 20/2009, Fac. of Economics and Management, Otto von Guericke University Magdeburg . 1-2., (1990).
- 2) 熊澤光正: トヨタ生産方式大全第 2 版 大学教育出版, p96-97,

(2015).

- 3) 青木幹晴:自動車工場のすべて ダイアモンド社, p76, (2012).
- 4) http://www.hello-aioi.com/product/l_pick/lightmodule.html
- 5) http://www.inventoryops.com/order_picking.htm
- 6) Schwerdtfeger, B and Klinker, G.: Supporting Order Picking with Augmented Reality, IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality 2008 (2008).
- 7) 山崎 賢人 他: 商品物流における仕分け作業支援への複合現実感技術の応用, 第 18 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集 pp.196-199 (2013)
- 8) Baumann, H. et al: Evaluation of Graphical User-Interfaces for Order Picking Using Head-Mounted Displays, 13th. International Conference on Multimodal Interaction ICMI' 11 (2011).
- 9) Ali, S. et al: A SOA based Context-Aware Order Picking System for Warehouses using Laser Range Finder and Wearable Computer, IEEE International Symposium on a World of Wireless Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM2011), pp.1-8 (2011).
- 10) 佐藤永欣 他: 地磁気・加速度センサによる自動車組立工場内作業トレースシステム, Vol. 51 No. 3, pp 810-823 (2010).
- 11) <https://www.leapmotion.com/?lang=jp>
- 12) <https://www.microsoft.com/en-us/Kinectforwindows/>
- 13) 桑畑舜也 他: 情報構造化環境における家具上物品検出のための移動ロボットによる視覚記憶照合と変化検出, 第 31 回日本ロボット学会 学術講演会 (2013).
- 14) Bradski, G. and Kaehler, A.: 詳解 OpenCV, p. 115, O'Reilly Japan (2009).
- 15) 富野貴弘:日産生産方式と受注生産 —トヨタとの比較を通じて—, 東京大学ものづくり経営研究センター MMRC Discussion Paper Series No. 295 (2010).
- 16) Arbulu R. et al.: Kanban in Construction, Proceedings of IGLC-11, Virginia, USA 2003, The International Group for Lean Construction.
- 17) Bailey, B.: Amazon's new robot army is ready to ship, Dec. 1, (2014).
<http://bigstory.ap.org/article/440d75555d74964a11c3700710758f3/amazons-new-robot-army-ready-ship>
- 18) Wohlsen, M.: Amazon Reveals the Robots at the Heart of Its Epic Cyber Monday Operation, Dec. 1. (2014).
<http://www.wired.com/2014/12/amazon-reveals-robots-heart-epic-cyber-monday-operation/>