



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

Application of Mixed Reality Technology to Order Picking for Warehouse Storage

山崎 賢人, 柴田 史久, 木村 朝子, 田村 秀行

Kento Yamazaki, Fumihisa Shibata, Asako Kimura, and Hideyuki Tamura

立命館大学大学院 情報理工学研究科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)

概要: 複合現実感 (MR) 技術は様々な分野で作業支援に用いられている。本研究では、応用例の 1 つとして、商品物流における仕分け作業に着目し、MR 技術によって作業者を支援する仕分け作業支援システムを提案する。まず従来の仕分け作業支援システムの問題点を洗い出し、これを MR 技術によって解決することで作業効率の向上やミスの低減を目指す。提案システムでは、HMD によって作業者の視界に CG を重畳描画することで作業支援のための情報を直観的に提示することができる。開発したシステムの動作を確認し、ビデオシースルー型 HMD と光学シースルー型 HMD による作業効率への影響を比較する評価実験を行った。

キーワード: 複合現実感, 仕分け作業支援システム

1. はじめに

近年、現実世界と仮想世界を実時間で継ぎ目なく融合する技術である複合現実感 (Mixed Reality; MR) の研究が盛んに行われている[1]。MR 技術の応用分野は多岐にわたるが、とりわけ工業製品の修理、メンテナンスや組み立てといった実用的な分野への応用が期待されている[2]。

本研究では、MR 技術の応用例の 1 つとして仕分け作業支援システム的设计・試作開発を行った。仕分け作業支援システムとは、主に配送センタで配送前に顧客ごとの発注商品を収集することを支援するシステムであり、従来から光ピッキングシステムなどが提案・開発されてきた[3]。

我々が提案するシステムは、MR 技術によって矢印などの CG を作業者が装着する HMD 上に重畳描画することで作業支援を行う。このシステムの目標は商品をピックアップし、集品容器に投入するといった一連の作業を作業者に指示することである。

2. 仕分け作業支援システム

2.1 オーダピッキング

作業者が指示通りに商品をピックアップし、仕分け動作を繰り返すことを仕分け作業 (オーダピッキング) と称する。オーダピッキングにおいて、商品単位で仕分け作業を行うものをピースピッキングと呼ぶが、これは、人間による作業が主流のため、人的要因や身体的特徴を考慮する必要がある。また、ピースピッキングの一形態として、作業者ごとに担当区域を決め、その中でのみ仕分け作業を行う手法をゾーンピッキングという方式がある。

ピースピッキングにおける作業者の動きを分析したところ、ピースピッキングは以下のような作業ステップに大

別することができる。

ステップ 1: 作業者がピッキング対象商品まで移動

ステップ 2: 商品をピックアップ

ステップ 3: 指定された集品容器まで移動

ステップ 4: 集品容器に商品を投入

作業者はこれらの作業ステップを繰り返すことで仕分けを行うことができる。

本研究において、我々はピースピッキングの一形態であるゾーンピッキングに着目し、それに MR 技術を応用することを検討する。まず初めに、我々は既存の手法の一例である光ピッキングシステムを分析した。

2.2 光ピッキングシステムの分析

LED ディスプレイ (LED 表示器) が点灯することで作業者の移動を支援するシステムを光ピッキングシステムと呼称する。オークラ輸送機株式会社が開発したピカトルは光ピッキングシステムの一例であり、ゾーンピッキング方式を採用している[4]。本研究では、ピカトルを例に光ピッキングシステムの問題点を分析し、それを MR 技術によって解決することを目指す。

以下では、初めにピカトルの作業環境を説明し、次にピカトルを使ったオーダピッキングの作業の流れを示す。

ピカトルの作業環境は各々の担当区域である作業スペースに LED 表示器が埋め込まれたカートンフローラックと集品容器を運ぶ自動コンベヤが並行になるように設置されている (図 1 ~ 3 参照)。システムは、商品や集品容器付近の LED 表示器を点灯させることで作業者を誘導する。ラックの右端には図 4 のようにディスプレイが設置されている。このディスプレイにはピックアップする商品の



図1 ピカトルの全体



図2 自動コンベヤ

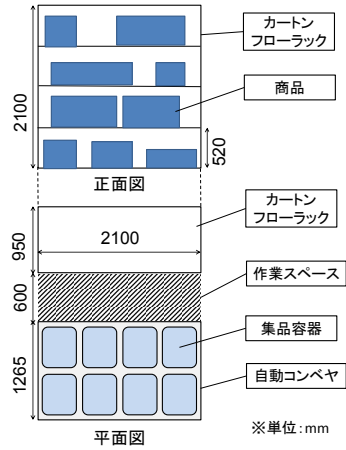


図3 ピカトルの作業環境

数, 対象の商品やコンベヤ上の集品容器の大まかな位置が表示されており, 仕分け作業の補助的な役割を担っている。

ピカトルでの作業の流れは2.1のオーダピッキングと基本的に同じであり, 4つのステップに大別することができる。まず作業者はラックの左端に立ち, 点灯したLED表示器の前まで移動し, 商品をピックアップする(図5参照)。次にLED表示器が点灯している集品容器前まで移動し, 商品を投入する。このとき, コンベヤに設置された赤外線センサが腕を検知することによって商品を投入したかどうかの判断を行っている。作業者はこれらのステップを繰り返すことによって円滑に作業を達成できる。

ピカトルが商品や集品容器の位置をLED表示器によって提示するためには, 事前準備として商品や集品容器の位置をLED表示器と関連付ける必要がある。また, 仕分け作業にはステップ1および3で商品や集品容器を探す時間を含み, この時間が作業の大部分を占めている。しかしピカトルでは作業者が商品や集品容器の位置を把握できない場合があるため時間短縮対策が不十分である。さらにこれらのシステムはLED表示器のために電気配線が必要となるため保守・運用にコストが掛かる問題がある。

3. MR ピッキングシステム

3.1 システムの概要

2.2で述べた問題点をもとに, 我々はMRによって仕分け作業を支援するシステム(MRピッキングシステム)のプロトタイプを設計した。主にステップ1および3の時間を短縮することに重きをおき, 以下のような情報を提示することで, 時間の短縮を図ることとした。

【視野内の商品や集品容器の3次元位置情報】

図6(a)に示すように, 対象の商品や集品容器の3次元位置を枠などのCGによって提示する。



図4 ディスプレイ



図5 ピカトルの作業例

【商品や集品容器の存在する方向情報】

図6(b)に示すように, 作業者に対して常に対象の商品や集品容器のある方向を矢印CGなどで提示する。

【同一商品の複数ピッキング個数情報】

図6に示すように, 同一商品を複数個ピックアップする場合に, 視野内に個数を常時提示する。

MR技術を用いてこれらの情報を提示すると, 作業者はピッキングに必要な情報を常に確認できることからステップ1および3で商品や集品容器を探す時間は短縮可能である。また, この情報提示方法は既存のシステムの情報提示方法に比べて設備部品が少ないため保守・運用のコストが低い。

3.2 システムアーキテクチャ

図7に設計したMRピッキングシステムのシステムアーキテクチャを示す。このシステムはクライアントサーバモデルを採用しており, 以下のモジュールで構成されている。

【サーバ, クライアントともにあるモジュール】

■Data Manager

各モジュール間でやり取りする情報を保存する。

■Connection

サーバとクライアント間で通信する。

【サーバのみにあるモジュール】

■Phase Manager

作業ステップを管理し, 現在の作業ステップに基づいて作業者に指示を出すための商品情報をData Managerに格納する。

【クライアントのみにあるモジュール】

■Camera Manager

カメラから画像を取得し, Data Managerに格納する。

■Pose Estimator

作業者の位置姿勢を推定し, Data Managerに格納する。

■CG Manager

現在の作業ステップや作業者の位置姿勢を考慮してCGを準備する。

■Renderer

CG Managerによって準備されたCGを描画する。

■Interaction Detector

マウスのクリックや手が商品や集品容器に近づいたかどうかを検出し, Data Managerに格納する。

3.3 デバイス構成

このシステムは以下に示すデバイスとマーカを用いる(図8参照)。



(a) 対象物の強調

(b) 対象物への誘導

図6 MR技術によるピッキングシステムの概要図

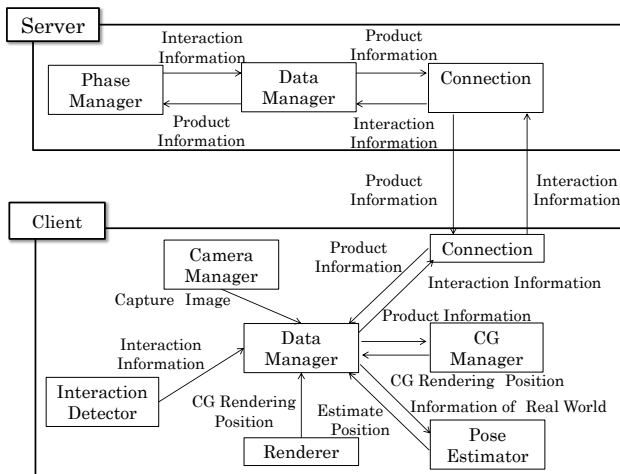


図7 システムアーキテクチャ

■HMD

作業者にMR情報を提示する。作業者はHMDを装着することによってハンズフリーになる。本研究では以下の2種類のHMDを用い、使い勝手について比較した。

(a)光学シースルー型HMD: このHMDには単眼カメラが搭載されており、現実世界の情報を取得するために用いる。ハーフミラーにはCGのみが提示され、ユーザはハーフミラーを透過した現実の光景とCGを同時に見ることでMR空間を知覚する。以降では光学シースルー型HMDを用いる場合をOSTモードと呼ぶ。

(b)ビデオシースルー型HMD: このHMDにはステレオカメラが搭載されており、現実世界の情報を取得するために用いる。撮影された画像上にCGを重畳描画し、両者が合成された画像を提示することで、ユーザはMR空間を知覚する。以降ではビデオシースルー型HMDを用いる場合をVSTモードと呼ぶ。

■モバイルPC

バックパックに入れて保持する。このPCはクライアントサーバモデルにおけるクライアントに対応し、サーバとは無線LANを介して通信する。

■サーバ用PC

ユーザから離れた場所に設置され、商品情報を管理する。無線LANを介してクライアントと通信する。

■ARToolKitPlus マーカ

作業者の位置姿勢を推定するために使用する[5]。

3.4 処理の流れ

MRピッキングシステムでは、システムを使用するために事前準備を必要とする。事前準備後、仕分け作業中のシステムの処理の流れは、まず商品情報をサーバから受信し、インタラクションの検出を行う、もし検出された場合は次の商品情報を受信する。検出できなかった場合は、位置姿



図8 作業者(クライアント)のデバイス

勢推定をし、注釈情報提示方法を決めCGを描画する。

【事前準備】

予め実測した商品の位置、数、投入する集品容器のIDのリストをサーバに保管する。

【位置姿勢推定】

環境中には、事前に複数のARToolKitPlusマーカを貼付し、マーカ間の位置関係をキャリブレーションしておく。HMDのカメラ画像においてARToolKitPlusマーカが認識された場合、システムはマーカを利用して世界座標系でのHMDの位置姿勢を推定する。

【商品情報管理】

全ての商品情報はサーバで管理され、クライアントの状態がステップ1に遷移するときクライアントに商品情報を送信する。

【インタラクション】

ステップ2および4を検出するためには、商品を「つかむ」、集品容器に「投入する」といったインタラクションが必要となる。このシステムではインタラクションを2パターン実装した。前者はマウスをクリックするというものであり、後者は手が商品や集品容器に近づけるといものである。以降では、後者のインタラクションをハンドインタラクションと呼ぶ。ハンドインタラクションを実現するために、手の3次元位置を推定した。具体的には、まず初めに、Handy ARにおける処理を参考に、HMDのカメラ画像から手の2次元位置を推定した[6]。同じ処理を左右のカメラ画像に対して実行し、得られた各画像での手の2次元位置から手とカメラ間の距離を算出し、カメラから手までの3次元位置を推定する。ハンドインタラクションはステレオカメラが必要なため、VSTモード時のみ動作する。

【注釈情報提示方法】

注釈情報の提示方法は3.1の提示情報をもとに2パターン実装した。

■シンプルパターン (Sパターン)

図9(a)に示すように視野内に対象商品や集品容器が存在する場合、商品の前方に四角形の枠のCGを描画した。商品や集品容器のある方向の情報は図9(b)に示すように矢印CGを用いて表現している。同一商品の複数ピッキング個数情報は図9の右下に示すように数字で表現している。

■アニメーションパターン (Aパターン)

図9(a)で示した四角形の枠のCGを拡大しながら商品の前方に平行移動するアニメーションを付加した。図9(b)で示した矢印CGは作業者と対象の商品や集品容器までの距離が長いと大きく、短いと小さくなるアニメーションを



(a) 対象物の強調

(b) 対象物への誘導

図9 ピッキングシステムの実装例

付加した。同一商品の複数ピッキング個数情報は S パターンと同様である。

4. 評価実験

4.1 評価実験手法

20 代の被験者 5 名に対して評価実験を行った。提案システムを用いて商品をピックアップし集品容器に投入するまでを 1 オーダとし、5 オーダ（例：(G,2), (F,3), (G,1), (J,4), (M,3)）の仕分け作業を行った（図 10 参照）。

【実験 1】

OST モードと VST モードの 2 モードで行った。インタラクションはマウスのクリックで検出している。また注釈情報は S パターンを用いている（図 11 参照）。

【実験 2】

VST モードかつハンドインタラクションで行った。また注釈情報は S パターンを用いている。

【実験 3】

実験 1 の注釈情報を A パターンに変更した。

4.2 実験結果と考察

実験 1 の結果として被験者ごとの平均時間と正答率を図 12 (a) に示す。被験者 5 人の平均時間は OST モードの場合 10.9 秒、VST モードの場合 14.6 秒であり、正答率は OST モードの場合 96%、VST モードの場合 84%であった。ビデオスルー型 HMD のほうが遅い原因として被験者の視野が HMD の画角に制限されているため、対象の商品や集品容器を見つけ辛く、また映像にブラーがかかっていたことが挙げられる。

実験 2 の結果として被験者ごとの平均時間と正答率を図 12 (b) に示す。被験者 5 人の平均時間は 21.6 秒、正答率は 90%であった。マウスをクリックするインタラクションに比べて大幅に所要時間が長いのは手の形状によって正しく検出できていないためである。

実験 3 の結果として被験者ごとの平均時間と正答率を図 12 (c) に示す。被験者 5 人の平均時間は OST モードの場合 10.2 秒、VST モードの場合 11.9 秒であり、正答率は OST モードの場合 82%、VST モードの場合 74%であった。これはアニメーションを付加することによって逆に商品位置が紛らわしくなることがあったためである。

【マーカの認識】

被験者が商品をピックアップするとき、被験者の位置姿勢推定が破綻する場合がある。これは被験者が商品に近づくことで、カメラがマーカを認識できていないためである。

【ハンドインタラクションの誤作動】

ハンドインタラクションを検出しない場合が多々あった。これは手とマーカが同時に認識していないと世界座標系での手の位置が推定できないからである。

【アニメーション表現】

実験 3 において 1 オーダの平均時間は実験 1 と大差ない結果であった。

5. むすび

本稿では、MR 技術による仕分け作業支援システムの第

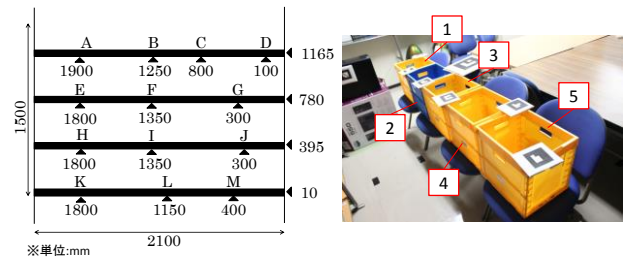
一段階としてプロトタイプを作成し、このシステムが正常に動作することを確認し、実験を行った。その結果、本プロトタイプシステムにおいてピッキング作業を様々な条件において行えることを確認した。今後の展望としては、インタラクション検出の精度向上を図る。さらに、ヒューマンエラー対策の提案を行うなど作業者が最も効率良く作業できるシステムを追究する。

謝辞

本研究の一部は、オークラ輸送機株式会社の支援による。

参考文献

- [1] H. Tamura, Y. Ohta: "Mixed Reality—Merging Real and Virtual Worlds," Ohm-sha & Springer-Verlag, 1999
- [2] S. Feiner, B. Macintyre, D. Seligmann: "Knowledge-based augmented reality," Communication of the ACM, Volume 36, Issue 7, pp. 53–62, 1993
- [3] D. Piasecki: "Order Picking: Methods and equipment for piece pick, case pick, and pallet pick operations," http://www.inventoryops.com/order_picking.htm (last accessed on May 25, 2013)
- [4] Okura Yusoki Co., Ltd. Picking System: <http://www.okurayusoki.co.jp/product/plant/picking/pikatoru.html> (last accessed on May 23, 2013)
- [5] D. Wagner, D. Schmalstieg: "ARToolKitPlus for pose tracking on mobile devices," Proc. Computer Vision Winter Workshop, pp. 139–146, 2007
- [6] T. Lee, T. Hollerer: "Handy AR: Markerless inspection of augmented reality objects using fingertip tracking," Proc. IEEE International Symposium on Wearable Computers, pp. 1–8, 2007



(a) 商品の配置場所 (b) 集品容器の配置
図 10 MR ピッキングシステムの実験環境

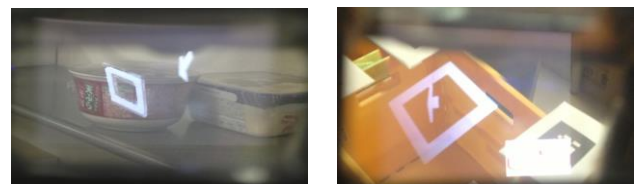
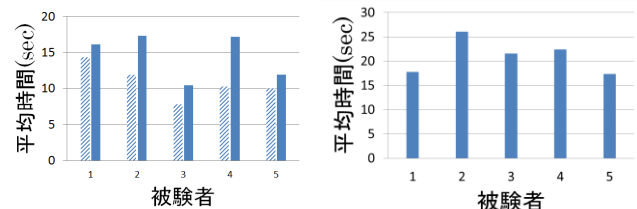
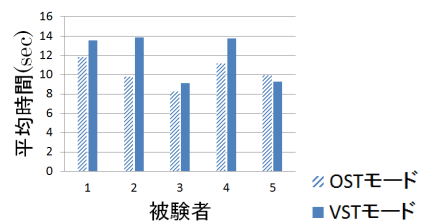


図 11 OST モード時の提示 CG



(a) 実験 1 の結果 (b) 実験 2 の結果



(c) 実験 3 の結果

図 12 実験結果