

可動式透過型ディスプレイを用いた搬送ライン向け作業支援システムの開発

西本 圭志* 平間 毅* 青木 邦知*

1. はじめに

中小企業の製造現場において、異物除去や傷検査などの工程は、製品の品質を保つ上で必要不可欠な工程である。現状、多くの現場では、搬送ラインを流れる製品の中に含まれた異物等を作業者が目視で確認し、手作業や機材（吸引機など）で除去している。

しかし、単純作業を長時間行うことによる集中力の低下、日々の体調・疲労度による注意力のバラツキ、作業への習熟度などにより、見逃しが発生することがあった。

2. 目的

作業者の見逃しを減少させるため、作業者へ透過型ディスプレイを介して作業対象物の位置を提示する作業支援システムの開発を行う。

3. 研究内容

透過型ディスプレイを介して作業者から見えている作業対象物の位置を、ディスプレイ表示面へ作業指示マーカを重畳表示させる作業支援システムの開発を行った。

3.1 本システムにおける作業指示の手法

本システムにおける作業指示手法は、以下の通りである。

- ・可動式透過型ディスプレイの表示面の平面方程式をリアルタイムに算出する。
- ・作業者の目と作業対象物の3次元位置の2点を通る直線方程式をリアルタイムに算出する。
- ・上記の平面方程式と直線方程式の交点位置をリアルタイムに算出し作業指示マーカを表示させることで、作業対象物を指示する。

以上の仕組みにより、透過型ディスプレイに表示した作業指示マーカを作業対象物に重畳表示させ、図1のように作業を促すシステムの開発を行った。

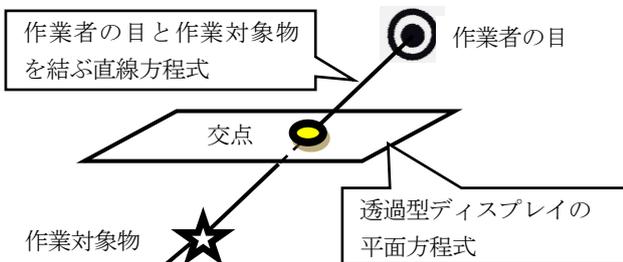


図1 作業指示を行う仕組み

3.2 システム構成

図2にシステム構成を示す。

- ・搬送ライン上流に作業対象物検出用のカメラを設置
- ・アームと立体マーカが付いた透過型ディスプレイを設置
- ・搬送ライン下流に作業者の目と立体マーカの位置姿

勢検出用のデプスカメラ（RGBDカメラ）を設置

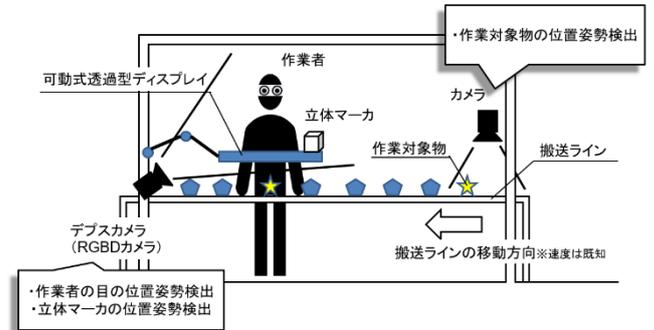


図2 システム構成図

3.3 システムの動作フロー

システムの動作フローを図3に示す。

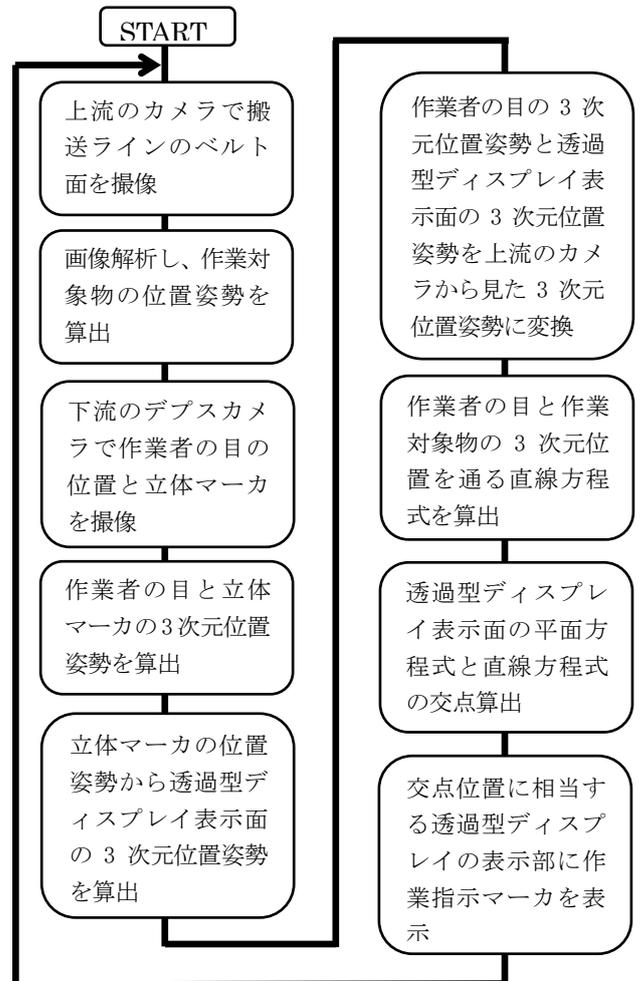


図3 システムの動作フロー

3.4 作業者の目の3次元位置の算出手法について

作業者の目の3次元位置を算出するため、デプスカメラ（RGBDカメラ）を使用した。RGB画像から、作業者の目のピクセル位置（u, v）をInsightFace¹⁾を用いて算出した。また、目のピクセル位置に対応する距離

*研究推進グループ

データ z (単位:m) を、デプス画像より取得した。このときに算出した (u, v) (単位:pixel) と z (単位:m) は単位が異なるため、単位を合わせる必要がある。今回は、作業者の目の3次元位置 (X_e, Y_e, Z_e) を m 単位で算出することにした(図4)。

まず、デプスカメラの内部パラメータを取得した。デプスカメラの内部パラメータには、カメラの焦点距離 (f_x, f_y) と主点 (c_x, c_y) (通常は画像中心位置) のデータが含まれている。デプスカメラ座標原点から画像素子までの距離は、焦点距離 (f_x, f_y) となる。これにより、デプスカメラ座標原点と画像素子に写った目の位置を通る3次元上の直線は、媒介変数 d を用い、以下の計算式で表すことができる。

$$\begin{aligned} x &= d((u-c_x)/f_x) \\ y &= d((v-c_y)/f_y) \\ z &= d \end{aligned}$$

この計算式の媒介変数 d に、デプス画像から取得した奥行データである z (単位:m) をあてはめ、デプスカメラから見た作業者の目の3次元位置 (X_e, Y_e, Z_e) を、 m 単位で算出した。なお、解析に使用した画像は、レンズ歪み(半径方向および円周方向のレンズ歪み)の補正済のものを使用した。

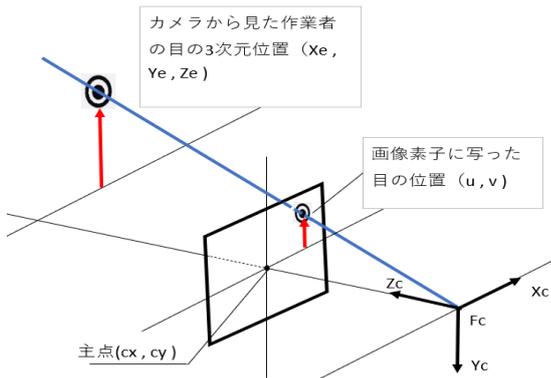


図4 カメラ原点・画像素子・作業者の目の関連図

3.5 3次元座標変換手法について

本システムでは、すべての検出対象の座標をカメラ座標系に統一している。そのためデプスカメラで検出した対象(作業者の目、立体マーカ、透過型ディスプレイ平面)の3次元座標も、カメラ座標系に変換する。

カメラとデプスカメラの位置姿勢関係は既知であり、2つの座標系の違いは Translation (並進ベクトル:T) と Rotation (3行3列の回転行列:R) で表される。よって、デプスカメラ座標系上の座標 (X_d, Y_d, Z_d) をカメラ座標系の座標 (X_c, Y_c, Z_c) に変換するため、以下の変換式を使用して、座標変換を行った。

$$\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} X_d \\ Y_d \\ Z_d \end{bmatrix} + T$$

4. 作業指示精度の評価

搬送ラインのベルト面に、作業対象物として青シール(直径8mm、円形)を貼付した。透過型ディスプレイ上に表示した作業指示マーカが青シールの中心からど

のくらい離れているか、図5のような方式で表示誤差を測定した。

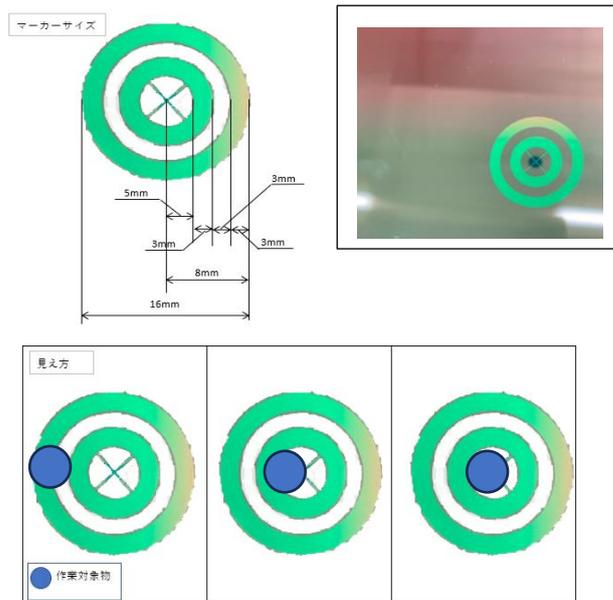


図5 作業指示マーカと評価例

搬送ラインが静止している状態と動作している状態(速度7cm/sec)の2つのケースで、作業指示精度を評価した。指示誤差は静止状態において $\pm 5.0\text{mm}$ 、動作状態において $-7\text{mm} \sim +3\text{mm}$ となった。

5. 考察

搬送ライン動作時、下流で誤差が大きくなる傾向が見られた。作業指示マーカの移動速度に対する前提条件の設定に、課題があると考えられる。

搬送ライン上の作業指示マーカの移動速度の前提条件は、一定の速度で動くとしている。事前キャリブレーションでは、搬送ラインの移動ベクトルと速さを測定し、速度を計算している。しかし、搬送ラインの速度が急に変化するときがあり、このことが作業指示精度に影響を及ぼしている可能性があると考えられる。

6. まとめ

令和4年度までにプロジェクタ、スマートグラス、透過型ディスプレイを使用した作業支援システムのプロトタイプを開発した。

今後、作業指示精度を向上させるため、搬送ライン面の平面方程式の算出を精度良く行える手法、搬送ラインの速度を処理に反映させる手法の検討を行う。

また、各システムによる異物見逃し減少効果検証、及び現状暫定になっているユーザーインターフェースの改善を行う。

なお、本研究は令和2年度から令和6年度までの文部科学省特別電源所在県科学技術振興事業「少量データによるAI構築技術及びAIの実応用に関する研究」の一環として、実施しているものである。

7. 参考文献等

- 1) InsightFace, <https://insightface.ai/>