

遠隔作業支援システムにおける指導者による AR 情報の重積手法とネットワーク環境が及ぼす影響についての評価

大多和均† 佐野良樹‡ 長沼晶子‡ 古澤昌也‡ 湯瀬裕昭† 渡邊貴之†
 静岡県立大学大学院経営情報イノベーション研究科† 静岡県立大学経営情報学部‡

1. はじめに

遠隔地にいる指導者が作業現場に出向くことなく作業者に指示を行う遠隔作業支援システムにより、作業の効率化やコスト削減が期待されている。

筆者らは、作業側側のデバイスとしてスマートフォンを用いた遠隔作業支援システム SPRInT および SPRInTx を開発している[2]。これらのシステムでは、指導者が作業者に対して音声指示だけでなく、拡張現実 (AR) の手法を取り入れ、作業者が撮影している動画にマーカや線画等の AR 情報を重積して作業指示を行う。

SPRInTx と同様に、AR 情報を重積する遠隔作業支援システムとして文献[1]がある。文献[1]では、指導者がスタンプと呼ばれる AR 情報を作業対象物に重積し、画像処理により作業対象物を追尾することで作業対象物から AR 情報が外れることを防止している。一方で、作業者の手ブレ等による映像のブレが大きいことで、指導者が作業対象物ではない場所に AR 情報を重積してしまう可能性がある。また、画像処理はクラウド上で行っているため、指導者が AR 情報を重積したフレームと作業側側のキャプチャフレームは異なるので、ネットワーク遅延等により AR 情報の位置がズレる可能性がある。

そこで、筆者らは文献[3]において、作業対象物に重積した AR 情報が作業者の手ブレ等により作業対象物から外れることを防止できるだけでなく、指導者が AR 情報を正確に作業対象物に重積できる手法について提案した。

本研究では、文献[3]における提案手法の有効性について評価を行う。また、ネットワーク遅延の影響により、作業側側から指導者側へ送信したフレームと指導者側から AR 情報を受信したフレームのタイムラグについて測定を行う。

2. 提案手法

2.1 システム概要

提案手法のシステム概要図を図 1 に示す。本研究では、作業側側のデバイスとして Android OS を

搭載したスマートフォンおよびタブレットを用い、作業側側で動作する遠隔作業支援用アプリケーションを Java 言語で記述した。また、中継サーバ内で動作する作業側側との通信を行うプログラムを Java 言語により記述した。画像処理を行うプログラムについては、コンピュータビジョン用のライブラリである OpenCV[4]を利用して C++言語で記述し、先に述べた通信プログラムとは JNI を用いて接続した。一方、指導者側の遠隔作業支援用アプリケーションについては、Web アプリケーションとして実装し、Web ブラウザの動作する機器であれば OS を問わず動作できるシステムとした。したがって、中継サーバ内では、指導者側との通信を行うために、Web サーバとして Apache を、サーバサイド言語として PHP を用いている。また、映像を通信する際のプロトコルとして UDP を採用した。

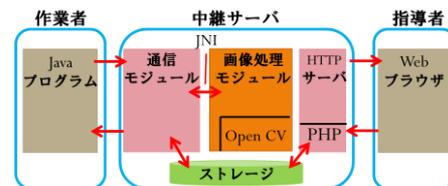


図 1 システム概要図

2.2 動作フロー

提案手法では、あらかじめ作業側側が真正面から作業対象の全体が写るように、リファレンス画像 (画像 R) を撮影する必要がある。撮影した画像 R は中継サーバへ送信される。その後、作業側側が撮影しているキャプチャフレーム (画像 C) が中継サーバへ送信されると、中継サーバ内で画像 C と画像 R の SURF 特徴量のマッチングを行い、画像 C から画像 R へのホモグラフィ行列 (H 行列) を計算し、画像 C を画像 R へ写像した合成画像 (画像 S) を生成する。画像 S は指導者側へ送信される。指導者側の画面に表示される画像 S の例を図 2 に示す。したがって、指導者側側は常に作業対象全体を真正面から撮影した画像 S を用いて指示を行うことができるため、作業側側の手ブレ等による影響を受けずに正確な位置にマーカを重積できる。指導者側側が画像 S にマーカを設定すると、マーカの座標が中継サーバへ送信され、記憶される。

次に、中継サーバ内で H 行列の逆行列を用いて、記憶されたマーカ座標が画像 C 上の座標に変換される。その後、作業側側側に座標変換後のマーカ座標のみが返送され、作業側側側のスマートフォン内で、受信した座標を用いて現在のキャプチャフ

An Estimate of the Methods for Overlaying AR Objects by Helpers and the Effects of Network Environments on the Remote Instruction Support System.

†Hitoshi Ootawa, Hiroaki Yuze, Takayuki Watanabe: Graduate School of Management and Information of Innovation, University of Shizuoka.

‡Yoshiki Sano, Akiko Naganuma, Masaya Furusawa: School of Management and Information, University of Shizuoka.

ーム上にマーカを重積する。



図2 指導者側に表示される画像Sの例(上記写真は合成領域がわかりやすいように点線で図示)

3. 評価実験

3.1 評価実験の概要

本研究では、①映像と音声のみ、②追尾機能のみを実装した手法、③提案手法の3つの手法の比較実験を行った。実験内容は、FPGA 評価ボード上を流れるクロック信号を、オシロスコープを用いて測定する作業である。また、指導者1人と作業員3人を1つのグループとし、作業員側と中継サーバ間で、ネットワーク遅延の影響がほとんど無視できるローカル環境を想定したグループ1と、日本国内と東南アジア地域を想定し FreeBSD DummyNet を用いて片側遅延を 100msec に設定したグループ2とする2つのグループで実験を行った。

3.2 タイムラグ測定

ネットワーク遅延の影響により、作業員側で表示しているフレームと中継サーバでマーカ座標を計算したフレームが異なるため、中継サーバで計算したマーカ座標が作業員側のスマートフォン内で表示される作業対象物の位置からズレる可能性がある。そこで、作業員側からフレームを送信し、中継サーバからマーカの座標を受信するまでの時間をタイムラグとした。測定する際に用いた機種と測定結果を表1に示す。表1から、ネットワーク遅延がある場合とない場合のタイムラグの差は、ほぼネットワーク遅延分であることがわかる。

表1 測定に用いた機種と結果

| 機種名 | SH-13C | A100 |
|-----------------|-----------------------------|------------------|
| メーカー | SHARP | Acer |
| CPU | QUALCOMM Snapdragon MSM8255 | NVIDIA® Tegra™ 2 |
| 動作周波数・コア数 | 1GHz・(1) | 1GHz・(2) |
| メモリ | 512MB | 1GB |
| Android version | 2.3.4 | 3.2.1 |
| 遅延なし | 226.6[msec] | 252.2[msec] |
| 片側遅延 100msec | 432.6[msec] | 472.1[msec] |

3.3 実験結果と考察

作業に要した時間を表2に示す。表2から、両グループとも提案手法の作業時間が最短であることがわかる。次に、「作業対象物に正確にマーカを付け易かったか」について指導者に5段階評価のアンケート調査を実施した。その結果を表3に示す。表3から、提案手法の方がより作業対象物にマーカを付け易いことがわかる。また、各手法の自由記述形式アンケート調査の結果、映像と音声

のみの手法では、「二者間の認識のズレがあり指示しづらかった」、「グラフの読み方等の細かい部分の説明がしづらい」と挙げられた。追尾機能のみを実装した手法では、「指示代名詞で指示ができ非常に楽だった」と挙げられたが、一方で「マーカの付ける位置がズレて何度か付け直した」と挙げられたことから、映像のブレによりマーカが付けにくいことが考えられる。提案手法では、「マーカがとても付け易い」、「映像のブレがないので、1回でマーカを正確につけることができた」と挙げられたことから、提案手法は作業対象物にマーカを付け易いと考えられる。以上のことから、提案手法は前項で述べたタイムラグの変化に影響することなく、遠隔作業支援に有効であると考えられる。

表2 作業に要した時間

| | グループ1 | グループ2 |
|---------------|-----------|-----------|
| 映像と音声のみ | 486.06[s] | 259.35[s] |
| 追尾機能のみを実装した手法 | 298.09[s] | 294.29[s] |
| 提案手法 | 241.22[s] | 178.81[s] |

表3 マーカの付け易さに対する5段階評価

| | グループ1 | グループ2 |
|---------------|-------|-------|
| 追尾機能のみを実装した手法 | 3 | 2 |
| 提案手法 | 5 | 5 |

4. まとめ

提案手法の有効性を調べるため評価実験を行ったところ、ネットワーク遅延がない場合も日本国内と東南アジア地域を想定し片側遅延を 100msec に設定した場合でも、作業対象物に正確にマーカを重積できるという結果が得られた。したがって、提案手法はネットワーク遅延の変化に影響することなく、遠隔作業支援に有効であると考えられる。

今後の課題として、ネットワーク遅延のみでなく、パケットロス等のネットワーク環境がどのように遠隔作業支援に影響するか検討していきたい。

参考文献

- [1]. NTT サービスイノベーション総合研究所, “遠隔コラボレーションシステム” http://www.ntt.co.jp/svlab/activity/category_2/product2_23.html (2013年5月7日確認)
- [2]. 阪本, 鈴木, 湯瀬, 渡邊, “複数作業員に対応した遠隔地間作業指示支援システム SPRInTx”, 情報処理学会 マルチメディア・分散・協調とモバイル (DICOMO2011) シンポジウム, 2011年7月.
- [3]. 大多和, 佐野, 長沼, 古澤, 湯瀬, 渡邊, “遠隔作業支援システムにおける指導者による AR 情報の重積手法とネットワーク環境が及ぼす影響に関する一考察”, イメージ・メディア・クオリティ研究会, ディスプレイと IMQ 一般, 2013年12月.
- [4]. OpenCV Wiki, <http://opencv.willowgarage.com/wiki/> (2013年1月10日確認)