

情報隠消機能を持つ遠隔押印システムの研究

YODOWATARI, Motoki / 淀渡, 元貴

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院理工学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要. 理工学研究科編

(巻 / Volume)

64

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

6

(発行年 / Year)

2023-03-24

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00026380>

情報隠消機能を持つ遠隔押印システムの研究

STUDY OF A REMOTE SEAL SYSTEM WITH INFORMATION HIDING FUNCTION

淀渡元貴

Motoki YODOWATARI

指導教員 中村壮亮

法政大学大学院理工学研究科電気電子工学専攻修士課程

Although telework has been introduced in many companies, there're limitations on the tasks that can be teleworked. For example, tasks that require contact with an object, such as stamping, are difficult to be done electronically. We propose a remote assist system that uses Diminished Reality (DR) technology to maintain the confidentiality of information. The system enables workers who aren't authorized to handle confidential information to perform their tasks without access to confidential information, while authorized employees can accomplish the tasks that require physical contact with the cooperation of the unauthorized workers. This presentation will introduce a remote seal system with information hiding functionality built using an open source software, TED (TelExistence Display System).

Key Words : Remote assist system, Augmented Reality, TelExistence, Diminished Reality

1. はじめに

昨今、新型コロナウイルス感染症対策として、多くの企業がテレワークを導入している。また、世界各国でもテレワークを行う労働者の数が大幅に増加している[1,2]。OECD[1]によると、比較可能なデータがあるすべての国で、新型コロナウイルス感染症の流行時にテレワークの割合が増加したとのことである。日本でも、2019年12月から2020年5月にかけてテレワーク率が10[%]から28[%]に増加した[1]。しかしながら、テレワークを行う作業には制限がある。例えば、郵便の処理、FAXの処理、押印、署名、整理整頓、模様替え等の物体との接触が必要な作業は電子化困難である。出社している社員は遠隔地にいる社員の遠隔指示に基づいて作業を行うことは可能であるが、機密情報を含む書類を扱うには、権限を持つ社員が出社せざるを得ないため、完全なテレワーク化の障害となっている。さらに、文献[2]にあるように、日本のテレワーク実施率の低さは、主にロックダウンの甘さに起因すると思われるが、印鑑の普及もその一因であると考えられる。

そこで我々は、作業者の視界から機密情報を隠蔽・消去することが可能な、Diminished Reality (DR)、即ち情報隠消機能を持つ、ARベースの遠隔作業支援システムを開発している[3, 4, 5]。このシステムを利用することにより、情報の機密性を保ちつつ、権限を持たない社員に様々な作業を行わせることが可能になる。さらに、権限を持たない社員だけで無く、外部の代理作業者に依頼して様々な作業を行うことも可能になり、テレワークのさらなる効率化が期

待できる。

本稿では遠隔押印において、高速の押印を実現するため、テレグジスタンスのためのオープンソースソフトウェア TED (TelExistence Display system) [6]を利用したシステムを開発し、試作システムによる遠隔押印実験により、その可能性を検証する。

2. 遠隔押印技術と課題

我々は、権限の無い作業者が機密書類を扱って、押印等の作業を行うことを可能にする、情報隠消機能を持つ遠隔作業支援システムを提案・開発している。その概念図を図1に示す。ビデオシースルーHMDを装着した作業者には、図1の中央の図のような、情報隠消処理を施して、機密情報を隠蔽したカメラ画像に、押印箇所を示すCG図形を重畳したAR画像を見せる。指示者には、図1の下の図のように、そのままのカメラ画像にCG図形を重畳したAR画像を見せる。完全な画像情報を得る指示者は、書類内容を確認し、押印作業においては、印鑑の印面の向きや持ち方を確認し、マウスやペン、キーボード、或いは手のCG図形を使って、CG図形で書類の押印箇所を指定し、作業者の印鑑を誘導し、押印結果を確認することができる[3, 4, 5]。

文献[3-5]では、スマートフォンを利用して、文書の機密性を保ちつつ遠隔押印が可能な試作システムを構築、報告した。評価実験では、書類の「印」に印面が重なるように遠隔押印が可能であることを確認できたが、「印」の中心から押印した面の中心へのずれは大きく、重要文書として

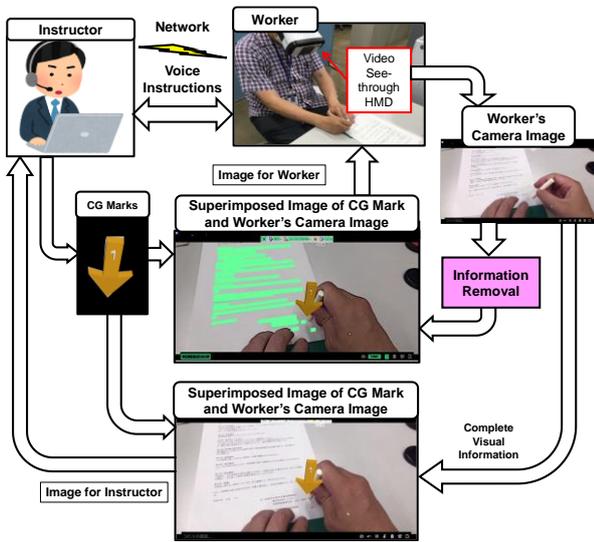


図1 情報の保護が可能な遠隔作業支援システムの概念図

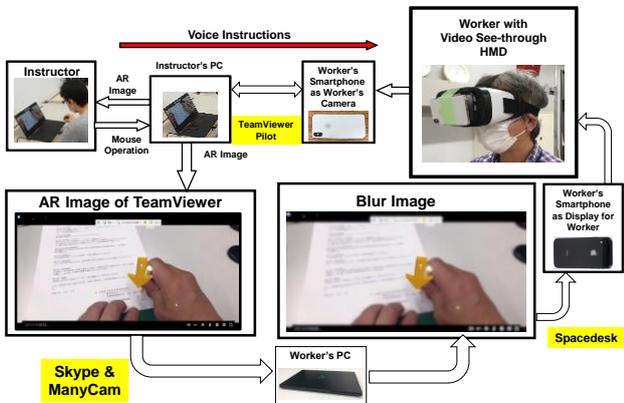


図2 旧システム構成

は、見苦しい場合があった。その原因の一つとして、図2に示すように、文献[3-5]の試作システムが、作業員用のHMDがスマートフォンを用いた簡易なHMDをベースとしており、ソフトウェアも複数の既存アプリケーションを組み合わせただけの、原始的なシステムであったため、画面の表示領域のサイズ等が最適化されておらず、システムの応答に遅延が有り、描画速度が遅く、また、文字領域認識等の高度の画像処理を組み込むことが難しかったという問題があった。また、ぼかし処理の程度が十分に最適化されていないという問題もあった。

3. TEDを利用した遠隔作業支援システムによる遠隔押印

(1) TEDを用いた遠隔押印システム

和歌山大学を中心に開発されているオープンソースソフトウェア TED[6]は、テレグジスタンス型ロボット操縦[7]やテレグジスタンス型の遠隔作業支援(遠隔行動誘導)[8, 9]を容易に実現できる視覚情報共有ソフトウェアである[10]。TEDを利用して、遠隔作業支援システムを構築する場合、HMDを接続するためにWindows PCを接続する必要があるが、C++で開発され、ソースコードが公開されているため、高度の画像・センサ情報処理を組み込むこ

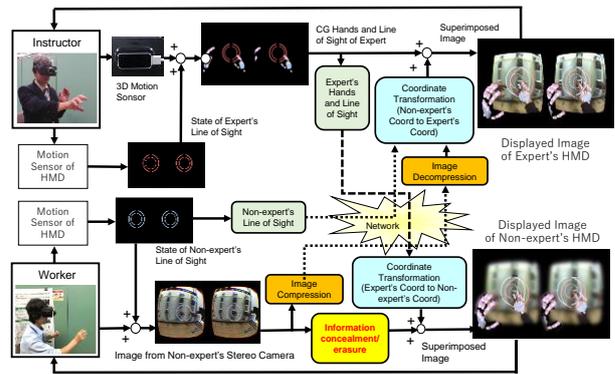


図3 遠隔作業支援のためのTEDの情報処理

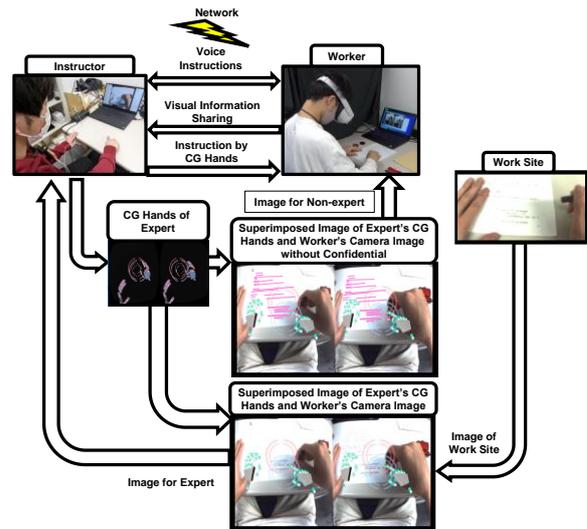


図4 情報隠消技術を付加した、TEDを用いた遠隔作業支援システムの概念図

とが可能である。

現在のTEDには、マウスを利用したユーザーインターフェースは無く、ジェスチャーインターフェイス[11, 12, 13]を利用したシステムとなる。図3に、指示者用のユーザーインターフェースとして、HMDとモーションセンサ、作業員用のインターフェースとしてステレオカメラとHMDを用いた遠隔作業支援システムの情報処理の概念図を示す。指示者の手のCGを手の形状・位置・姿勢を計測するモーションセンサを利用して、生成し、作業員のカメラ画像に重畳表示することにより生成したAR画像を指示者と作業員で共有する。指示者は、手のCGの動きで、作業の手本を作業員に示すことで、指示者は作業員の支援を行う。

図3の構成は、指示者の臨場感を高めるため、作業員用のステレオカメラと指示者用ならびに作業員用のHMDを利用しているが、押印等のオフィス作業では、必ずしも臨場感は高くなくても良い場合が多いので、本稿では、作業員用に単眼カメラを利用し、画像処理プログラムによるぼかし処理を導入したシステムを構成した。文献[3-5]にあるように、情報機密を護るため、作業員は、視覚情報を完全に管理することが可能なVR用HMDを装着する。

図4にTED[10]を用いたシステムの概念図を示す。作業

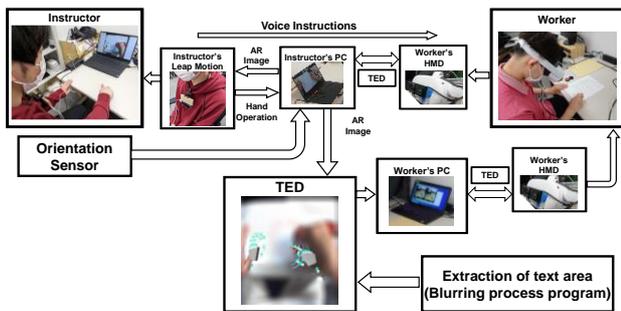


図5 試作システムの概要

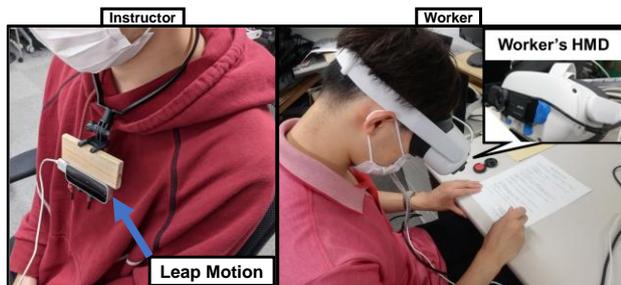


図6 試作システム(左画像は指示者, 右画像は作業者)

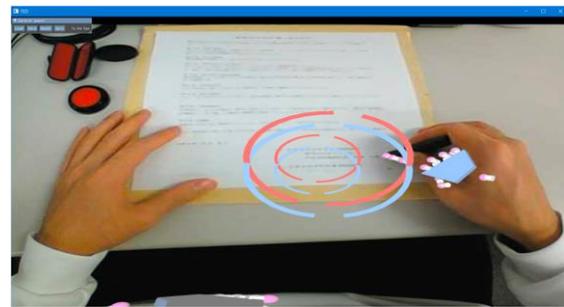
者は, 図4の中央の図のように情報の隠蔽処理を行ったHMD画像に, ハンド・ジェスチャーを示すCG図形を重畳したAR画像を見る. 指示者は, 図4の中央下の図より, 作業者のカメラ画像にCG図形を重畳したAR画像を見つつ, ハンド・ジェスチャーと音声による指示を行う. 以上により, 機密情報を保護した遠隔押印が可能となる.

(2) 試作システムの実装

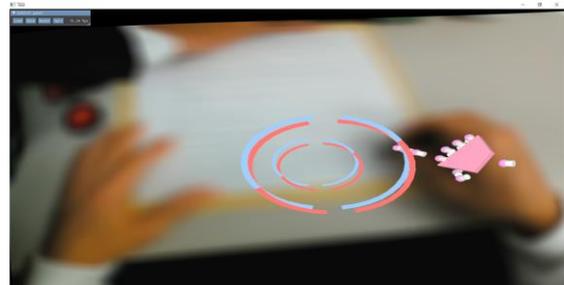
提案する隠消技術を付加した遠隔作業支援システムによる遠隔押印の精度を評価するため, TEDを用いた試作システムを構築した. 今回は, ぼかしプログラムによる遠隔押印の精度への影響を見るため, TEDにOpenCVのぼかし処理関数blurを組み込んでぼかし処理を行い, 作業者が文字を読めない状態を実現している. blur関数のx方向, y方向のフィルタサイズはそれぞれ10とした. 画像処理による文字検出及び文字認識から機密情報に関連する文字のみの隠蔽・消去を行う機能を持つ画像処理プログラムの開発は今後の課題である.

図5にTEDをベースとした遠隔押印システムの試作システムの構成を示す. 図6に作業者と指示者がそれぞれ装着するシステムを示す. 図6の右上の画像は, 作業者が装着するシステムである. 作業者用のカメラとして, カメラはBUFFALO BSW20KM11(撮影モード: 解像度1920x1080:30[fps], 640x480:30[fps]等, 視野角120度)を使用しており, 作業者用HMD, Oculus Quest2の前面に取り付けている. 一方, 指示者のHMD装着による負担を減らすために, 指示者用にPCディスプレイを利用したシステムを構成している.

指示者の手の動きは, 胸部に装着したモーションセンサ, Leap Motion社製Leap Motionを用いて, 指示者のハンド・ジェスチャーを取得する. 指示者はノートPCのディスプレイを利用して作業支援を行う. また, 比較のため, ぼか



(a) 指示者が見る画像



(b) 作業者が見る画像

図7 TEDによるAR画像表示

しフィルムをHMDのレンズと眼の間に挟み込んだシステムも用意した. ぼかしフィルムを用いたシステムも同様に, 指示者はHMDを装着せず, ノートPCのディスプレイを利用する. 指示者の手の動きは, 頭部または胸部に装着したLeap Motionを用いて取得する.

図7(a)に押印作業中に指示者が見ている画像を示す. TEDに組み込んだぼかし処理により, 作業者はぼけた画像しか見ることができない. 図7(b)に作業者が見ている画像を示す.

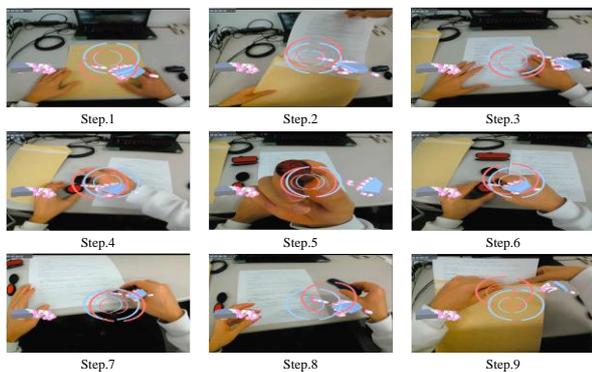
本稿で使用したPCについて, 指示者側PCは, Intel(R) Core(TM) i7-8750H, クロック周波数2.2[GHz], メモリ16[GB], NVIDIA GeForce RTX 2080 Max-Q(8[GB])を使用した. 作業者側PCは, Intel(R) Core(TM) i7-7700HQ, クロック周波数2.8[GHz], メモリ16[GB], NVIDIA GeForce GTX 1060 Mobile(6[GB])を用いた. 両者は無線LAN(バッファローWSR-5400AX6-NMB, IEEE802.11a, 最大4803[Mbps])で接続されている.

4. 実験

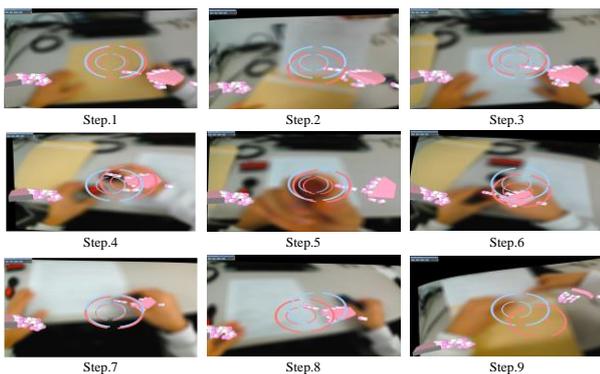
(1) 遠隔押印実験

本項では, オープンソースソフトウェアのTEDを用いた遠隔押印システムの試作システムにおいて, 試作システムの性能評価実験と, ぼかしフィルム及び画像処理プログラムを用いたぼかし処理を実装した際の押印の正確さ及び作業時間を測定するために行った実験について述べる.

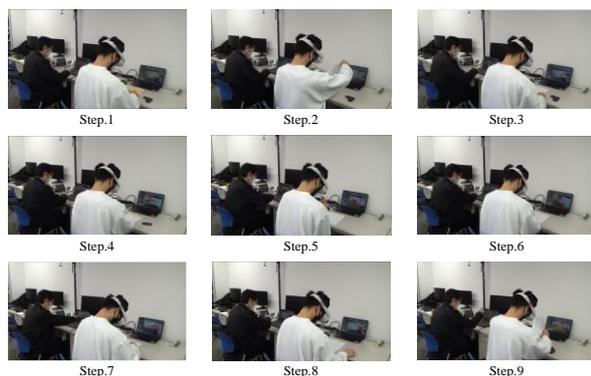
試作システムの性能評価実験として, フレームレートを計測した. ぼかし処理を組み込んだTEDである試作システムの平均値は71.8[fps]であり, 標準偏差は0.047であった. また, ぼかし処理を組み込んでいないTEDを動作さ



(a) 指示者側視点の押印作業



(b) 作業側の押印作業



(c) 作業全体

図 8 押印作業の様子

せた時のフレームレートの平均値は 71.8[fps]であり、標準偏差は 0.017 であった。

信号遅延について、カメラ入力から指示者のディスプレイに映されるまでの遅延時間を、株式会社光パコミュニケーションズの遅延測定装置 DPN2011B にて測定した。点滅するテスト信号の点灯時に基準となる輝度の 80[%]に達した時点と消灯時に基準輝度の 20[%]に達した時点で 10 回の繰り返し計測を行った。TED にぼかし処理を組み込んだシステムの点灯時の信号遅延の平均は 184[ms]であり、消灯時の信号遅延の平均は 277[ms]であった。文献[4,5]のぼかし処理を行ったシステムの点灯時の遅延 553[ms]や消灯時の遅延 535[ms]に比べて、応答性が大幅に向上している。なお、ぼかし処理を組み込まない場合の点灯時の遅延は 180[ms]であり、消灯時の遅延は 275[ms]であった。

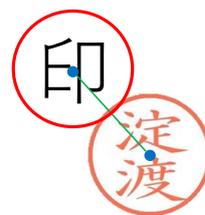


図 9 押印位置の計測

(2) 実験方法

本実験では、文献[4,5]と同様に作業者が遠隔地にいる指示者の指示に従い、封筒から書類を取り出し、押印作業を行う作業から封筒に入れるまでの流れを書類の文字を見ること無く行う作業を行った。図 8(a)に押印作業中の指示者視点の様子を示す。図 8(b)に押印作業時の作業者視点の様子を示す。図 8(c) に押印作業の全体の様子を示す。

(step.1) HMD を装着する

(step.2) 封筒より書類を取り出す

(step.3) 朱肉を書類の左側に置き、蓋をあける

(step.5) 印鑑をケースから出し、印面をカメラに向けて方向及び持ち方を確認する

(step.6) 指示者が朱肉の中心の真上にあると想定し、置いた手の CG 図形を見て朱肉の中心に印鑑を押し付ける

(step.7) 指示者が押印箇所の真上にあると想定し、置いた手の CG 図形を確認しつつ、その下のぼかした押印箇所を確認し押印する

(step.8) 印鑑をケースにしまう。朱肉をしまう

(step.9) 書類を封筒に入れる

(step.10) 作業終了)

計測項目として、押印の精度と作業時間を計測する。押印の精度及び作業時間を計測するため、プログラムによるぼかし処理、ぼかし用フィルムによるぼかし処理について、指示者と作業者が前述の実験手順に慣れることを目的として、それぞれのぼかし処理を交互に行った。指示者及び作業者が十分と回答したところで実験を開始した。押印の正確さについては、図 9 に示すように押印してもらう書類の「印」の中心位置から実際に押印した印面の中心位置の距離を計測した。実験後にアンケート調査を行った。アンケートは、指示及び作業のやりやすさ・指示及び作業中の気分・指示及び作業中の分かりやすさ・CG 図形の見やすさについて、11 段階 (0~10) で評価した。また、作業負荷について主観的指標を得るために、日本語版 NASA-TLX[14]を用いた。NASA-TLX は、知的・知覚的要求 (Mental Demand : MD), 身体的要求 (Physical Demand : PD), タイムプレッシャー (Temporal Demand : TD), 作業成績 (Own Performance : OP), 努力 (Effort : EF), フラストレーション (Frustration : FR), 全体的な負荷 (Overall Workload : OW) の 0 から 100 で評価される 7 つの尺度で構成される[14]。

本実験では、TLX の簡便法である、各項目に重みをつけずに単純平均する RTLX(raw-TLX)を用いた。被験者 1 名につきプログラムによるぼかし処理とぼかし用フィルム

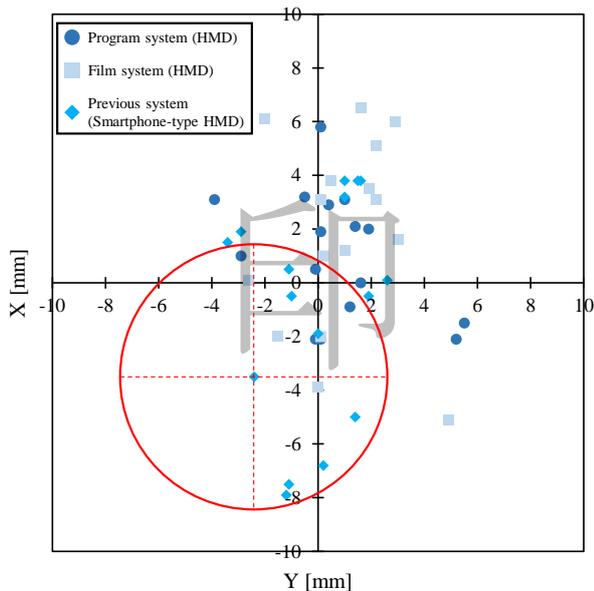


図 10 実験結果-押印位置の比較

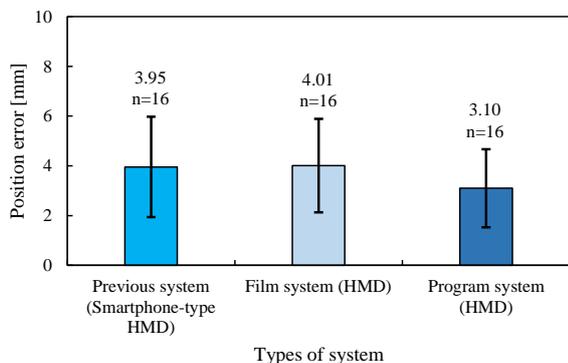


図 11 実験結果-位置誤差の比較

によるばかし処理を 2 回ずつ、計 4 回の実験試行を 8 人が行った。

(3) 実験結果

押印位置 (印面の中心) をプロットした結果を図 10 に示す。原点を書類の押印位置とした。図 10 に示すように、使用した印鑑の直径は 10[mm]であり、押印した円の中に「印」の文字が含まれるデータは全体の 37.5[%]であった。スマートフォン型 HMD を利用した先行システムによる実験では 20[%]であった。また、スマートフォンを利用したシステムの押印位置と比較すると、CG 図形を除いたばかし処理により、押印位置に誘導しやすくなった分、押印の精度が向上していることが分かる。また、プログラム処理とばかし用フィルム処理の押印位置のずれについて、プログラムの平均は、X 軸 0.69[mm]、Y 軸 1.06[mm]となり、標準偏差は X 軸 5.27[mm]、Y 軸 5.20[mm] であった。一方、フィルムの平均は X 軸 0.91[mm]、Y 軸 1.76[mm]となり、標準偏差は X 軸 3.65[mm]、Y 軸 12.02[mm]が得られた。

位置誤差及び作業時間について、スマートフォンを利用したシステムと比較した結果を図 11 と図 12 に示す。押印位置のずれについて、スマートフォン型 HMD のシステム

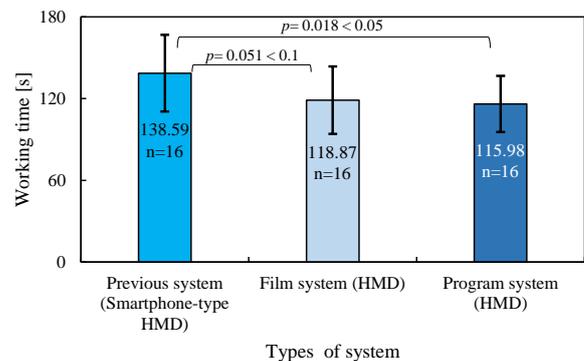


図 12 実験結果-作業時間の比較

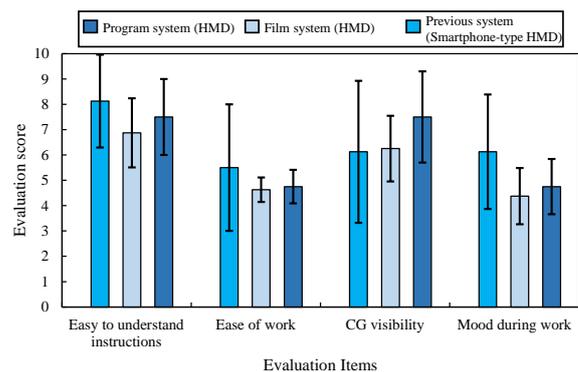


図 13 実験結果-アンケートの比較

とプログラム処理の実験結果を比較すると、Student の (unpaired two-tailed) t 検定を行った結果、両側・等分散とした場合の p 値は、ずれの大きさを 0.205 であったため、統計的に有意ではないものの、前回のシステムに比べて、分散が小さくなっていることがわかる。

図 12 に示すように、作業時間の平均及び標準偏差についても同様に t 検定を行った結果、両側・等分散の p 値について、 $p=0.018 < 0.05$ であり、統計的に有意に、作業時間が短縮していることが分かる。CG 図形を除いたばかし処理により、押印位置に誘導しやすくなった分、作業時間が短縮していることが分かる。さらに、分散が小さくなっており、単一のアプリケーションによる応答性の向上が影響したのでは無いかと推測している。また、フィルムを用いたシステムとスマートフォン型 HMD のシステムを比較すると、p 値が 0.05 以下ではないものの、0.1 以下になっているため、フィルムにおいても作業時間の短縮については、有意な傾向があった。

実験後のアンケートから得られた評価点を図 13 に示す。各項目について、t 検定を行った結果、Easy to understand instructions は両側・等分散の p 値で 0.497、Ease of work は両側・等分散の p 値で 0.456、CG visibility は両側・等分散の p 値で 0.294、Mood during work は両側・等分散の p 値で 0.169 であった。従って、どの項目についても統計的有意差は無かった。

プログラム処理及びフィルム処理において、NASA-TLX の各評価尺度の結果を図 14 に示す。各評価について、t 検

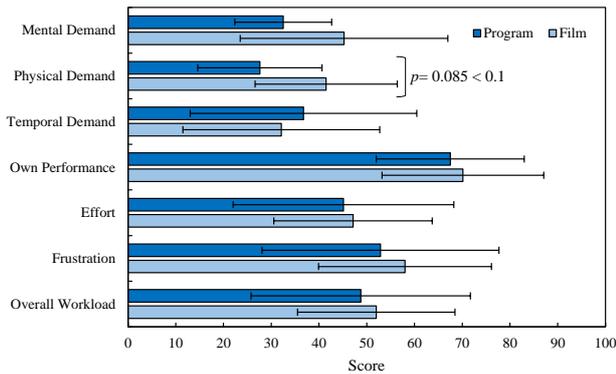


図 14 実験結果-NASA-TLX

定を行った結果、身体的負荷は、両側・等分散の p 値で 0.085 であり、有意差があるとは言えないが、有意な傾向が出ていることがわかる。従って、実験結果より、スマートフォン型のシステムと比較すると、TED を用いたシステムで有意に改善されていることがわかる。また、ぼかし用フィルムとプログラムによるぼかし処理で統計的な性能差がないことが明らかとなった。

(4) 考察

精度・作業時間ともに向上したものの、現時点では、重要な書類の押印としては、見苦しい場合がある。押印の精度を高めるためには、書類の文面を文字領域として検出して、情報隠蔽・消去処理を行うことや、「印」印の付近のぼかし処理の取りやめを行うこと、正確な奥行き情報が取得可能なステレオカメラを用いることで押印の精度の向上が期待される。

5. おわりに

本研究では、オープンソースソフトウェアの TED をベースに遠隔作業支援システムを構築した。HMD にぼかし用フィルムを貼ったシステムと CG 図形を除いた画像処理プログラムによる機密情報を保護する機能を持つ遠隔作業支援システムは、応答性や作業時間が改善されたものの、重要文書の押印としては、未だ精度が十分では無い。画像全体をぼかすアプローチでは、精度に限界が有り、押印箇所を除いてぼかし処理を行う方式や、文字領域検出による情報隠蔽・消去処理の導入することで、さらなる押印の精度を向上が期待される。

謝辞: 本研究の遂行にあたり、的確なご助言を賜り、また丁寧にご指導して下さいました中村壮亮准教授に感謝の意を表します。

共同研究者である、産業技術総合研究所の大山英明先生には、本研究のシステム、実験方法、結果分析、考察の方法など細部にわたるご指導をいただきました。深く感謝申し上げます。

そして、実験にあたっては、本研究の趣旨を理解し快く協力して頂いた被験者の皆様には、感謝の念にたえません。本当にありがとうございました。

参考文献

- 1) OECD, Teleworking in the COVID-19 pandemic: Trends and prospects, OECD Policy Responses to Coronavirus (COVID-19), 21st September 2021.
<https://www.oecd.org/coronavirus/policy-responses/teleworking-in-the-covid-19-pandemic-trends-and-prospects-72a416b/>
- 2) T. Mori, The Coronavirus Pandemic and the Increase of Teleworking in Eight Countries-From Telework to Flexplace Systems -, Nomura Research Institute Report, 2021.
https://www.nri.com/en/knowledge/report/1st/2021/cc/0216_1
- 3) 大山英明 : AR/MR/DR 技術による遠隔押印の提案, VRSJ2020, 2020.
- 4) 淀渡元貴他 : AR/MR/DR 技術を用いた遠隔押印に関する実験的評価, ROBOMECH2021, 2021.
- 5) E. Oyama, M. Yodowatari, S. Nakamura, K. Tokoi, A. Agah, H. Okada, T. Omori, "Integrating AR/MR/DR technology in remote seal to maintain confidentiality of information", *Advanced Robotics*, Vol. 35, No. 11, pp. 704-714, 2021.5.
<https://doi.org/10.1080/01691864.2021.1929472>
- 6) K. Tokoi, <https://github.com/tokoik/ted>
- 7) S. Tachi, *Telexistence 2nd Edition*, World Scientific, ISBN 978-981-4618-06-9, 2015.
- 8) T. Maeda, et. al., Immersive Tele-collaboration with Parasitic Humanoid: How to Assist Behavior Directly in Mutual Telepresence, ICAT2011, p. 4-9. 2011.
- 9) E. Oyama, et. al., Augmented Reality and Mixed Reality Behavior Navigation System for Telexistence Remote Assistance, *Advanced Robotics*, *Advanced Robotics*, 35:20, pp. 1223-1241, 2021.
<https://doi.org/10.1080/01691864.2021.1976670>
- 10) 大山他 : TelExistence Display System (TED) : テレイグジスタンス/遠隔行動誘導/体験共有のための AR 表示オープンソースソフトウェア, SI2017, 2017.
- 11) H. Kuzuoka, Spatial workspace collaboration: a SharedView video support system for remote collaboration capability. in *The SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI) 1992*, pp. 533-540, 1992.
- 12) F. Tecchia, L. Alem, and W. Huang, 3D helping hands: a gesture based MR system for remote collaboration, In: *11th ACM SIGGRAPH International Conference on Virtual-Reality Continuum and its Applications in Industry*; pp.323-328, 2012.
- 13) H. Bai, P. Sasikumar, J. Yang, M. Billinghurst, A user study on mixed reality remote collaboration with eye gaze and hand gesture sharing, in *CHI'20*; 2020.
<https://doi.org/10.1145/3313831.3376550>.
- 14) 芳賀繁, 水上直樹 : 日本語版 NASA-TLX によるメンタルワークロード測定-各種室内 実験課題の困難度に対するワークロード得点の感度-, *人間工学* 32 (2) , pp. 71-79, 1996-04.