

MR を用いた組立作業向け支援システムの開発と評価

張伝揚^{†1} 川合康央^{†1}

概要: 日本と中国の高度経済成長期を支えたベテラン職人たちの引退に伴って、工場現場での作業効率の低下が問題になっている。企業は持っているノウハウを若い作業員たちに教えるべきであるが、人材の流動化により、技術を受け継ぐことが難しいのが現状である。近年、AR (拡張現実) と VR (仮想現実) 技術の発展により、製品の修理訓練や複雑な作業の運用支援など、産業において大きな役割を果たす可能性があると予測されている。しかし、VR では、ユーザが完全に仮想世界に没入し、実際の作業と並行して何かをすることが難しい一面がある。AR では、デジタル情報と実空間の間に接点がない。これらに対し、複合現実 (MR) の場合は、仮想空間に取り込まれた情報が現実世界と相互に影響を与え合うことができる。本研究では、デスクトップ PC を組立対象として、従来のマニュアルを用いた組立作業のタスクを分析して得られたパーツの認識と配置過程においてデスクトップ PC の組立経験のない初心者でも容易に組立できる MR システムの開発と、マニュアルを用いた作業に比べて、HoloLens を使った MR システムを導入した場合にどれだけ効率を上げられるかを定量的に評価する手法を提案する。

1. 背景と目的

従来の工業製品の組立作業は、手順書によるものが多かった。しかし、組立経験のない初心者にとって、手順書による学習の効率は低い。そのため、AR と VR 技術は、現実世界では行にくい作業訓練やシミュレーションなどによく使われている。その一つに積木制作社の VR により工場内危険体験安全教育システムが実用化されている[a]。しかし、VR では、ユーザが完全に仮想世界に没入してしまい、実際の作業と並行することが難しい。それに対し、AR では、作業指示 CG などのデジタル情報を現実世界に映し出すことができる。しかし、AR によるデジタル情報と現実世界の間には、接点がない。

MR(複合現実)の場合は、仮想空間に取り込まれた情報が現実世界と相互に影響を与える。HoloLens[b]は、2017年に発売された代表的な MR デバイスであり、人差し指でものを摘む動作の「Air Tap」がクリックに相当し、花開くように手を広げる「Bloom」がホームボタンに相当する。この二つの動作に加えて、音声認識の機能も備わっている。また、HoloLens は AR と照合して Kinect[c]のように自己位置推定を可能とする SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) 機能も搭載している。工業分野においては、Melynda (2018) と Arthur (2003) にあるとおり、HoloLens は他の作業提示装置と比べて組立作業時間の削減や作業のパフォーマンスの向上に有効性があることが認められる。

また、Gabriel (2017) は Vuforia[d]を HoloLens に統合し、部品にマークを貼り付けることで、Vuforia による高い精度の物体認識と追跡を実現した。しかし Gabriel の方法では、マークが必要であり、部品と HoloLens の相互位置が水平、または HoloLens が部品より低い位置にある場合には適用できない。

そこで、本研究では、HoloLens により、立体部品の認識と配置作業に対してマークレスで適用できるリアルタイム支援システムの構築とその評価の方法の提案を目的とする。

2. 組立作業の分析

従来の工場現場には、ルールブック、規定書や作業手順など、様々なマニュアルが存在している。マニュアルとの関わり方は現場の作業員によって異なるが、それぞれのマニュアルが現場で随時参照できるとは限らない。そのため、あらかじめその内容を十分に理解し、頭に記憶しておくことが必要である。しかし、こういった事前に記憶する方法では、作業員に負担がかかり、作業効率の向上を妨げる。

本研究では、自作デスクトップ PC を研究対象とし、各部品の公式サイトからダウンロードしたマニュアル(図1)に従い、組立の流れは以下の手順とする。

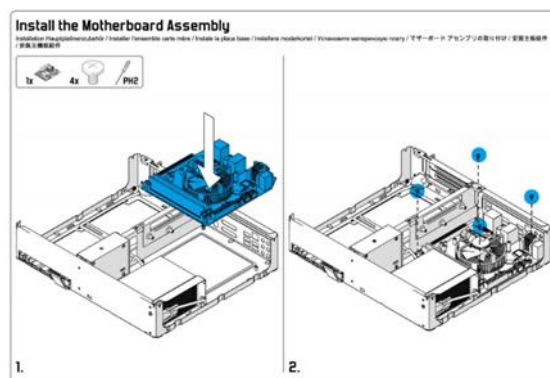


図1 マニュアルの構成

1. マザーボードにメモリーを挿す。
2. ケース上部カバーを外す。
3. マザーボード取り付け。
4. 電源の取り付け。
5. 電源ケーブルを挿す。

^{†1} 文教大学情報学研究科

a) <http://sumikiseisaku.com/result/denso2.html>

b) <https://www.microsoft.com/ja-jp/hololens>

c) <https://developer.microsoft.com/ja-jp/windows/kinect>

d) <https://developer.vuforia.com/>

3. システムの開発と構成

Vuforia によりマークレスで物体認識するための実現方法としては、三つのツールがある。固定角度から認識するツール Vuforia Model Target Generator と、あらゆる角度から認識するツール Advanced Model Targets 360 と Vuforia Object Scanner[e]（以下 Scanner）である。前2者は、物体の CAD データをツールに導入し分析してから物体を認識することができる。本研究で使っている PC パーツは CAD データが持っていないため、Scanner を使うことにした。また、より良いスキャン結果を得るため、異なるデバイス間のスキャン効果を比較した(図 2,3)。

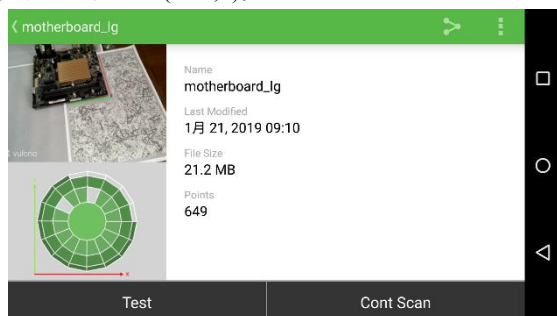


図 2 LG G2 のスキャン結果

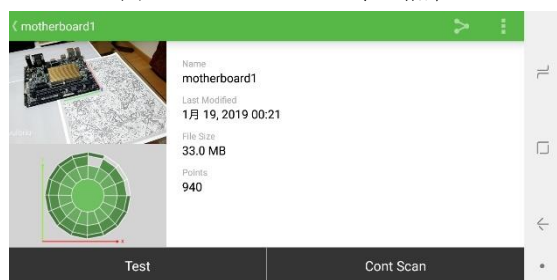


図 3 Galaxy S8 のスキャン結果

(1) 部品 CG の作成

物体の CG を作成するツール Qlone[f]は無料スキャンアプリケーションである。しかし、本研究で使うマザーボードなど、反射しやすいものであるため、Qlone によるスキャン効果は良くない(図 4)。そのため、各部品をインターネットで検索し、部品の CG をダウンロードして使う。インターネットに CG がない部品については Sketch Up と 3DS MAX を使って CG を作成した(図 5)。



図 4 Qlone で作成した CG

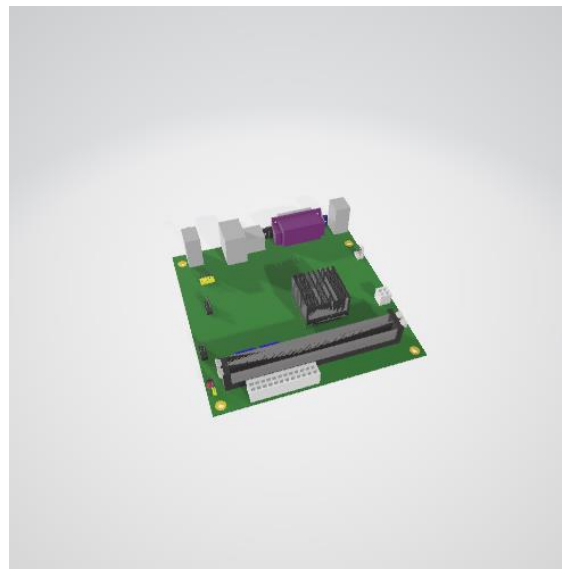


図 5 Sketch Up で作成した CG

(2) システムの設計

HoloLens 向けアプリケーションを開発する際に必要となるものは、Microsoft 社が提供する MixedRealityToolKit [g]（以下 MRTK）である。MRTK を Unity に導入することで、Vuforia による HoloLens の物体認識は簡単に実現できる。しかし、物体認識において、Vuforia は一つの「Scene」で二つの「ObjectTarget」しか同時に認識できないため、複数の「Scene」が必要となる。「Scene」を切り替えるには二つの方法がある。

まずは図 6 に示すように、プロジェクトに必要な Assets を全部「BaseScene」に含ませ、一つの「Camera」で各々「Scene」を切り替える方法である。この方法では、他の「ButtonScene」にある「ObjectTarget」は、「Camera」との連携が難しい。そこで、本研究ではこの方法は適用しない。

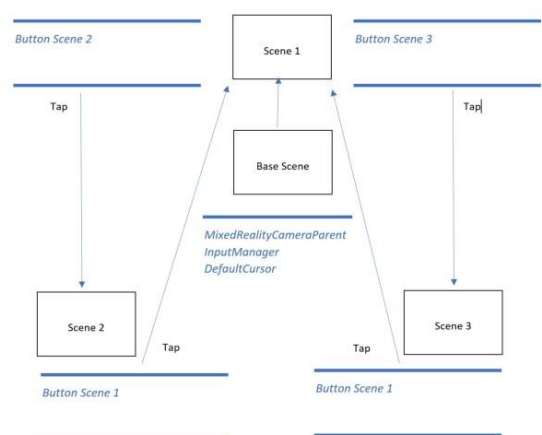


図 6 「BaseScene」方法[h]

e) <https://library.vuforia.com/articles/Training/Vuforia-Object-Scanner-Users-Guide>

f) <https://www.qlone.pro/>

g) <https://github.com/microsoft/MixedRealityToolkit-Unity>

h) <https://codeholo.com/2018/07/31/changing-scenes-and-viewing-ui-elements-rightly-in-hololens-apps/>

この問題を解決するために、Vuforia HoloLens Sample[i]（以下 VHS）を Unity に導入した。VHS を使用すれば Vuforia の「Scene」を簡単に作成できる。ここでは、Vuforia を使った「Scene」を「ARScene」、Vuforia を使っていない「Scene」を「noARScene」とする。「noARScene」から「ARScene」に切り替える時には Vuforia の初期化が必要となり、初期化が完了するまで時間がかかる。従って、「ARScene」の読み込み時間が、Vuforia の初期化が完了するまでにかかる時間より早い場合には、Vuforia 側のエラーが出てしまう。

「Loading」は、「ARScene」の読み込みが 90%までに達していないと「ARScene」に切り替えることはできないという仕組みである。これを使うことで、「noARScene」から「ARScene」に切り替える Vuforia の初期化の問題を解決できる。

(3) それぞれの「Scene」の作成

システムの流れについては、次のようになる。まず、「1-WelcomeScene」では研究テーマ「PC-Assembly Research」を 2 秒間表示して「2-WorkPlaceScene」に切り替わる。「2-WorkPlaceScene」では、WorkPlace を認識して自動的に「3-MenuScene」に切り替わる。「3-MenuScene」は、「4-MemoryScene」や「5-CaseScene」などのパーツ組立「Scene」への切り替えへと続く。各組立「Scene」の中に、図や文字などを用いて組立方法を示す「HelpMenu」がある。図 7 に示すように、クリックで「HelpMenu」を表示したり隠したりすることができる。



図 7 「4-MemoryScene」の「HelpMenu」

組立「Scene」でパーツの組立が終わったら、ダブルクリックで「3-MenuScene」に戻る。最後に、パーツの組立が全て終わったら「3-MenuScene」の「完了」ボタンを押すと、作業時間が表示され、プロジェクト終了となる。

組立「Scene」の中では、パーツの組立方法を分かりやすくするため、図 8 に示すように、パーツ CG をアニメーション化する。



図 8 CG による作業指示

4. 実験と結果

(1) 実験の目的

Hololens と公式マニュアルの両方を用いて、デスクトップ PC の組立作業の実験を行う。被験者は 5 人ずつであり、作業時間、エラーの数を記録し、両方のデータを比較して解析する。パーツの認識と配置作業において、従来のマニュアルに対して Hololens を導入した MR システムの場合、作業に要する時間がどの程度軽減されたかを算出する。また、作業終了後、システムとマニュアルに対するアンケートを実施する。

(2) 実験の概要

被験者は全員、デスクトップ PC の組立経験のない初心者であり、Hololens を用いた MR システムと、印刷した紙マニュアルを用いて、デスクトップ PC の組立作業の被験者実験を行わせた。

被験者は机上に配置されたデスクトップ PC のパーツのうちから、マニュアルと MR システムでそれぞれ指示された部品を選び出して組立作業を行う。計測項目は、作業が完遂するまでの時間とエラーの数であり、できるだけ正確なデータを取得するために、被験者に対して組立の手順と判断を変えることなく、全て同様の作業を行うこととした。

(3) 実験の条件

マニュアルを用いた組立作業の実験は、まず、公式マニュアルから組立の流れにより必要な部分を選び出す。作業をする前に、被験者に各パーツの名前とマニュアルを紹介して作業を行わせる。

MR システムを用いた組立作業の実験は、まず、Hololens の操作方法を被験者に紹介する。パーツの名前、MR システムの流れと使い方を被験者に説明してから作業を行わせる。

作業の様子は図 9、10 のようになる。また、電源の 24pin と 4pin ケーブルを差し込み口に挿したら、作業が完了とする。

i) <https://library.vuforia.com/articles/Solution/Working-with-the-HoloLens-sample-in-Unity>



図9 マニュアルによる作業の様子

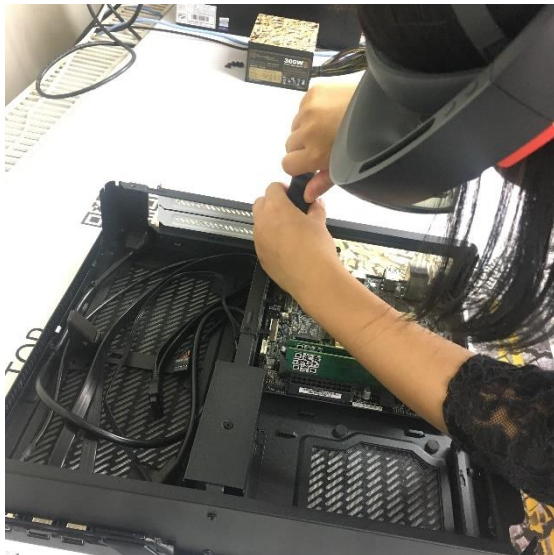


図10 MRシステムによる作業の様子

(4) 実験の結果

実験の結果は、以下の表1, 2である。

表1 Hololensの実験結果

	時間	エラー	備考
被験者1	12分9秒	0	
被験者2	5分48秒	1	4pin ケーブル間違い
被験者3	7分15秒	1	電源側ネジ回し忘れ
被験者4	11分15秒	1	4pin ケーブル間違い
被験者5	18分3秒	1	電源コネクタ組立間違い

表2 マニュアルの実験結果

	時間	エラー	備考
被験者6	27分57秒	2	ケースと電源のネジ間違い
被験者7	25分39秒	1	電源コネクタ組立間違い
被験者8	13分35秒	1	メモリーをしっかりと挿していない
被験者9	12分10秒	2	4pin ケーブル間違い
被験者10	23分08秒	0	

実験結果によって、平均エラーの数は、MR システムが0.8であり、マニュアルが1.2であった。MR システムはマニュアルより、エラーの数をおよそ1/3程度減らしたことが分かった。平均作業時間においては、MR システムが10分54秒であり、マニュアルが20分29秒であった。HoloLensによるMR システムが、約半分の作業時間を短縮したことで、ある程度の作業効率の改善が行われたと思われる。

また、実験を通じて見られた課題として、パーツの組立位置に映し出されたCGが作業の邪魔になっていることがわかった。また、HoloLensの操作に慣れていないことやVuforiaによる認識が遅く被験者を困らせることなどが挙げられる。

5. まとめ

本研究では、MRを用いた作業支援システムの開発を行い、本システムを使って、従来にマニュアル作業との比較を行った。開発したシステムは、HoloLensによって、立体部品の認識と配置作業についてマークレスで表示可能なリアルタイム支援システムである。結果、作業のエラー数はおよそ1/3程度減少させ、また作業時間もおよそ半分まで短縮することができた。今後、システムの評価から得られた課題をもとにシステムの改善を行っていく。

参考文献

- [1] Hoover, Melynda, "An evaluation of the Microsoft HoloLens for a manufacturing-guided assembly task" (2018). Graduate Theses and Dissertations. 16378.
- [2] Arthur T, Charles O, Frank B, and Weimin M. Comparative effectiveness of augmented reality in object assembly. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '03). ACM, New York, NY, USA, 73-80.
- [3] Evans, G.M., Miller, J.J., Pena, M.I., MacAllister, A., & Winer, E. (2017). Evaluating the Microsoft HoloLens through an augmented reality assembly application. Defense + Security.