



|              |                                                                                                             |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Title        | A Study on Visualization Techniques of an AR-based Context-Aware Assembly Support System in Object Assembly |
| Author(s)    | Bui, Minh Khuong                                                                                            |
| Citation     | 大阪大学, 2018, 博士論文                                                                                            |
| Version Type | VoR                                                                                                         |
| URL          | <a href="https://doi.org/10.18910/69716">https://doi.org/10.18910/69716</a>                                 |
| rights       |                                                                                                             |
| Note         |                                                                                                             |

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

## 論文内容の要旨

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 氏名 ( BUI MINH KHUONG )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                       |
| 論文題名                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | A Study on Visualization Techniques of an AR-based Context-Aware Assembly Support System in Object Assembly<br>(ARを用いたコンテキストアウェア組立支援システムの可視化手法に関する研究) |
| 論文内容の要旨                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                       |
| <p>This thesis proposes and evaluates the effectiveness of visualization techniques for an augmented reality (AR) - based context-aware assembly support system in object assembly. In assembly support systems using AR, visualization techniques of guidance information have a very important role because they affect directly to users perception, task performance accuracy and mental workload. Although many AR-based assembly support systems have been proposed, few keep track of the assembly status in real-time and automatically recognize error and completion states at each step. Naturally, visualization techniques and their effectiveness for such context-aware systems remain unexplored.</p> <p>Our test-bed system was built in the context of building block (LEGO) assembly that can automatically recognize assembly status, detect assembly errors and display context-aware guidance information corresponding to the recognized assembly status. It also helps users correct errors quickly and finish assembly tasks correctly.</p> <p>In our first evaluation, we compared the performance of the test-bed system in different AR visualization modes proposed with a traditional assembly instruction style - paper manual in assembly tasks. Experimental results show that although subjects took longer to complete the assembly tasks with the test-bed system, accuracy was dramatically improved and subjects also felt that the visualization modes proposed were easier to understand and more useful than the traditional assembly style with a paper manual.</p> <p>In our second evaluation, based on feedbacks in the first evaluation, we proposed some new forms of the traditional AR visualization mode - Overlay mode and evaluated them in assembly tasks. We found a visualization mode (partial-wireframe overlay mode), which has guidance information and the topmost layer of the virtual model rendered directly overlaying on the real model, had better user preference as well as efficiency of assembly tasks.</p> <p>We conducted the third evaluation to explore effectiveness of two modes: one is the best visualization mode proposed in the first evaluation (the side-by-side mode) and the second one is the mode we found in the second evaluation (the partial-wireframe overlay mode). Our experimental results indicate that the first mode outperforms the second one under moderate registration accuracy and marker-based tracking.</p> <p>Although the side-by-side mode has good performance and user preference, it is not always available due to limits of object-stabilized visualization styles specifically under the context we concern in this study with big size of assembling models and narrow field-of-view head mounted displays (HMDs). In the last evaluation, we proposed and evaluated the effectiveness of hybrid object- and screen-stabilized visualization techniques as a solution for the limits with the object-stabilized visualization styles. Our experimental results indicate one of the two hybrid object- and screen-stabilized visualization modes proposed that shows virtual target status of real assembling objects at a fixed position on the HMD screen with real-time pose updated has the best performance and user preferences under the context considered in this study.</p> <p>Our experiments showed that the visualization techniques proposed in this thesis helped users to have a better perception about assembly tasks, increase task performance accuracy and reduce mental workload. We believe that our results provide useful insight into the design of visualization techniques for AR-based assembly support systems under moderate registration accuracy and marker-based tracking context.</p> |                                                                                                                                                       |

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

| 氏 名 (Bui Minh Khuong) |        |                      |
|-----------------------|--------|----------------------|
| 論文審査担当者               | (職)    | 氏 名                  |
|                       | 主査 教授  | 竹村 治雄                |
|                       | 副査 教授  | 尾上 孝雄                |
|                       | 副査 教授  | 清川 清 (奈良先端科学技術大学院大学) |
|                       | 副査 准教授 | 間下 以大                |
|                       | 副査 准教授 | 伊藤 雄一                |

### 論文審査の結果の要旨

本論文はヘッドマウントディスプレイ (HMD: Head Mounted Display) を用いた拡張現実 (AR: Augmented Reality) による組立支援システムにおける可視化手法に関する一連の研究を取りまとめたものである。ARによる組立支援システムはAR技術が登場した1990年代から存在するが、現在にいたるまでその多くは組立状況を自動的には認識せず、個々の作業手順完了の確認をユーザの目視に頼っている。本論文では、組立状況を自動認識する組立支援システムを構築し、それに適した作業手順の可視化手法をいくつか考案して有効性を評価したものであり、これまでに例がない研究である。本論文の主な成果として次の三点が認められる。

第一に、実際のブロック玩具による組立状況を自動的に認識するテストベッドシステムを構築し、ARによる2種類の可視化手法（作業対象と次に組み立てるべきブロックの三次元モデルを作業対象に重畠表示する「オーバーレイ」とそれらを作業対象の横に複製表示する「サイドバイサイド」）を考案して紙ベースの組立支援と比較している。テストベッドシステムはRGB-Dカメラとマーカベーストラッキングを用い、卓上でのブロック玩具の組立状況を実時間で認識することができる。また、比較実験では紙ベースの組立支援に比べてARによる組立支援では作業誤りをより低減できることを確認している。ARシステムではオーバーレイ手法に類した可視化が一般的であるが、サイドバイサイド手法のほうが作業時間をより短縮するという興味深い知見を得ている。

第二に、オーバーレイ手法を改善する手法をいくつか考案し、改善手法とサイドバイサイド手法を改めて比較評価している。具体的には、オーバーレイ手法では作業対象の視認性が低下する欠点を改善し、重畠表示する内容を限定した「部分ワイヤフレーム」と「ファンタム」と呼ぶ2つの手法を考案し、部分ワイヤフレーム手法の優位性を確認した上で、これとサイドバイサイド手法を再度比較している。結果として、サイドバイサイド手法の優位性が改めて確認されている。高精度なトラッキングや位置合わせを要するオーバーレイ手法やその改善手法に比べて、より簡易な手法ともいえるサイドバイサイド手法の優位性が示されたことは非常に興味深い。

第三に、HMDの視野角が狭い場合に適した可視化手法について検討している。視野角が狭い場合、世界座標に固定された三次元モデルは首振りに伴って頻繁に視界から外れてしまう。一方、スクリーン座標に固定した場合は作業対象との位置姿勢の関連が不明となる。そこで、三次元モデルの位置についてはスクリーン座標に固定した上で、その姿勢については作業対象の姿勢に一致させるハイブリッドな可視化手法とその亜種を考案し、サイドバイサイド手法と比較評価している。その結果、ハイブリッド手法は作業時間の点ではサイドバイサイド手法と同等であり、主観評価の点ではサイドバイサイド手法よりも好まれるという結果を得ている。

これらの成果は、それぞれ専門学術論文誌やトップカンファレンスに採録されている。

以上のように、本論文は今後さらに利活用が進むと期待される拡張現実技術の進展に重要な成果を挙げた研究として、情報科学に寄与するところが大きい。よって、本論文は博士（情報科学）の学位論文として価値のあるものと認める。