

(5) 施工現場における 地下埋設構造物のMR可視化システム

藤 飛¹・榎山 和男²・吉永 崇³・琴浦 毅⁴・石田 仁⁵

¹学生会員 中央大学大学院 理工学研究科 都市人間環境学専攻 (〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27)

E-mail: a19.f7fy@g.chuo-u.ac.jp

²正会員 中央大学教授 理工学部 都市環境学科 (〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27)

E-mail: kaz@civil.chuo-u.ac.jp

³非会員 公益財団法人 九州先端科学技術研究所 (〒814-0001 福岡県福岡市早良区百道浜 2-1-22)

E-mail: yoshinaga@isit.or.jp

⁴正会員 五洋建設株式会社 技術研究所 (〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町 1534-1)

E-mail: tsuyoshi.kotoura@mail.penta-ocean.co.jp

⁵正会員 五洋建設株式会社 技術研究所 (〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町 1534-1)

E-mail: Hitoshi.Ishida@mail.penta-ocean.co.jp

本論文は、三次元空間の認識とそれに伴う自己位置推定技術を搭載した光学シースルーヘッドマウントディスプレイを用いた地下埋設構造物のMR可視化システムの構築を行ったものである。MR可視化における重畳の精度を向上させる手法および地下埋設構造物に対する有効な可視化表示方法の提案を行った。例題を通じて、地下埋設構造物の施工・維持管理等における支援システムとしての有用性について検討を行った。

Key Words: *Mixed Reality, Underground Structure, Simultaneous Localization and Mapping, HoloLens, Construction Site*

1. はじめに

近年、AR・MR可視化技術は、建設分野における様々な分野・用途に対して適用が試みられている。中でも、地上から構造物を直接確認することができない地下構造物・埋設物の可視化は施工や維持管理等における諸作業を安全かつ効率的に行う上で有効であるといえる。

筆者らは、既往の研究において空間の3次元形状の認識と自己位置の推定を同時に行うSLAM (Simultaneous Localization and Mapping) 技術を搭載したスマートフォンを用いた地下構造物・埋設物のAR可視化システムの構築を行ってきた¹⁾。しかしスマートフォンによるAR可視化は、画面が小さく、また可視化を行う際に手が塞がってしまう、という使用上の問題点がある。

一方、近年同じくSLAM技術を有する装着型MRデバイスとして、Microsoft社の光学シースルーヘッドマウントディスプレイ HoloLens が注目されている。HoloLensは頭部に装着するタイプのデバイスであり、利用者自身の視界の上にCGのみが重畳されるため描画の遅延等による違和感が少なく、また両手が自由となるため建設現場での安全性にも優れるという利点が挙げられている²⁾³⁾。

そこで本報告では、装着型のMRデバイスに着目して重畳の精度を向上させる手法および有効な可視化表示に関する提案を行い、地下埋設構造物等の施工・維

持管理等における支援システムとしての有用性を検討する。

2. 開発環境

本研究では、HoloToolkit-Unity-2017.4.17f1 ライブラリを用いたMR可視化システムの構築を行う。開発環境はUnity 2017.4.17f1 (64-bit) を使用し、プログラミング言語はC#を用いた。

HoloToolkitとは、HoloLens向けのアプリを効率的に開発するための機能を含んだツールキットである。NativeのHoloToolkitとUnity向けのHoloToolkit-Unityがある。本システムでは、HoloToolkit-Unityを使用し、SLAM技術を用いることにより周辺環境の情報捉え、その空間の中での位置関係の計算を随時行うことにより、CG映像の重畳位置を決定する。具体的には、以下に示す三つの技術を用いた⁴⁾。

- **Input** : 視線、ジェスチャー、音声などの入力に関する機能である。
- **Spatial Mapping** : 周りの空間を認識してデバイス内で3Dマップを構築する機能である。アプリケーション起動中にユーザー周辺の空間をスキャンし、それらをメッシュ化した情報をアプリケーション内で利用を可能とする機能である。



図-1 HoloLens



図-3 メニューモデル

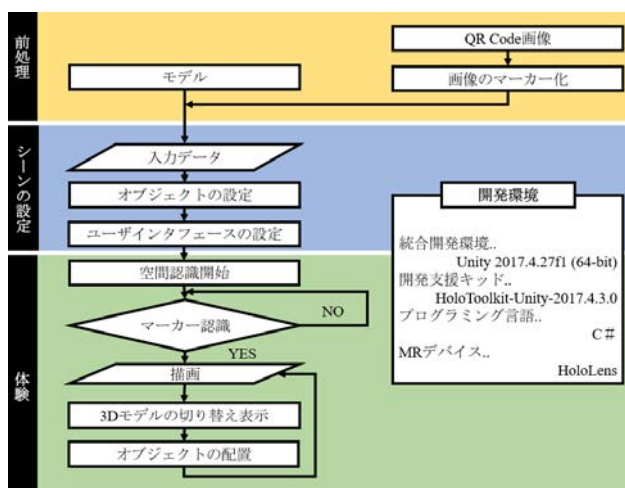


図-2 本システムのフローチャート

- Spatial Understanding : 空間を解析する機能に加え、オブジェクトを配置する機能である。配置の条件として、壁や床などの配置場所の指定、ほかのオブジェクトや床や壁ととどのくらい離れているか、などの制約をつけることができる。

HoloLens とは、マイクロソフトが開発しているヘッドマウントディスプレイ (HMD) 方式の拡張現実ウェアラブルコンピュータである。HoloLens は本体に搭載されているセンサー図-1 に示す。センサーによる測定は、単独ではなく複数のセンサーの情報を統合して行っている。ヘッド・トラッキング・カメラと IMU (慣性計測ユニット) の計測値を総合的に判断し、各種センサーを組み合わせることで、顔の正面が向いている方向のトラッキングやジェスチャーによる操作認識ができる⁵⁾。

3. 本システムの概要

HoloLens を用いた施工現場における地下構造物の MR 可視化のフローチャートを図-2 に示す。各工程について

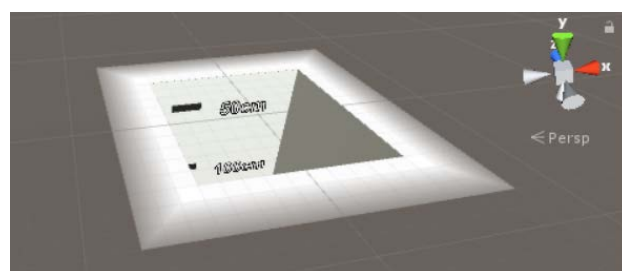


図-4 開口部モデル

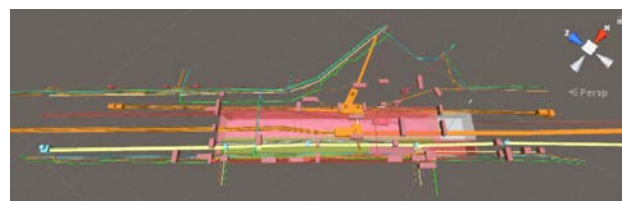


図-5 埋設構造物モデル

て以下に示す。

(1) 前処理

前処理として、重畳する埋設構造物の 3D モデルと開口部モデルデータ、初期位置合わせに必要なマーカーを準備する。

a) モデル

図-3 は AR 可視化を行う際のインターフェースメニューである。図-4 および図-5 は重畳する開口部モデルと埋設構造物の 3D CAD モデルである。開口部モデルは、地面に正方形の穴を設定して、可視化したい地下埋設構造物の範囲を示す“覗き窓”である。可視化したい領域のみ表示をする正方の開口部モデルを用いて、マスキング処理することで違和感なく AR 可視化を行



図-6 三脚を用いたマーカー 図-7 固定構造物を用いたマーカー

うことが可能となる。また、深さ方向に目盛をつけることで、深さ情報も正確に理解することが可能である。

b) マーカー

本研究では、初期位置合わせに Vuforia のマーカー認識を使用する。Vuforia はスマートフォンやタブレット、ウェアラブルデバイスに対応した AR・MR 開発用ライブラリである⁶⁾。

(2) シーン設定

入力した 3D モデルの設定や表示方法、マーカーと 3D モデル位置関係の設定、ユーザインタフェースの設定を Unity 上で行う。

まず、オブジェクトの設定として、全てのモデルを Unity に導入し、図-8 に示したように初期位置合わせに前述した Vuforia のマーカー認識を使用する。アプリケーション起動直後画像認識は、あらかじめ設定した任意画像を検出する機能である。設定した任意のマーカー画像を検出し、その座標を 3D CAD モデルに与えることで、重畳位置を決定する⁴⁾。既往研究では、図-6 に示したように、三脚によるマーカー設置を行ってきた。しかし、三脚によるマーカー設置では、手作業で位置と角度を決めるため、正しい位置と角度での設置に時間がかかってしまうというデメリットがある。そのため、本研究では、図-7 に示したように平面座標の分かる既設の固定構造物にマーカーを設置した。これにより、地下埋設構築物の 3D CAD モデルを正しい位置に重畳することが可能となる。

次に、ユーザインタフェースの設定として、重畳位置を正しく表示するために Spatial Mapping、Spatial Understanding と Input の Air Tap を使用した。Air Tap とは、HoloLens がユーザーのハンドジェスチャー操作を認識した際に実行する処理を、Unity のスクリプト上で設定することを可能とする機能である。

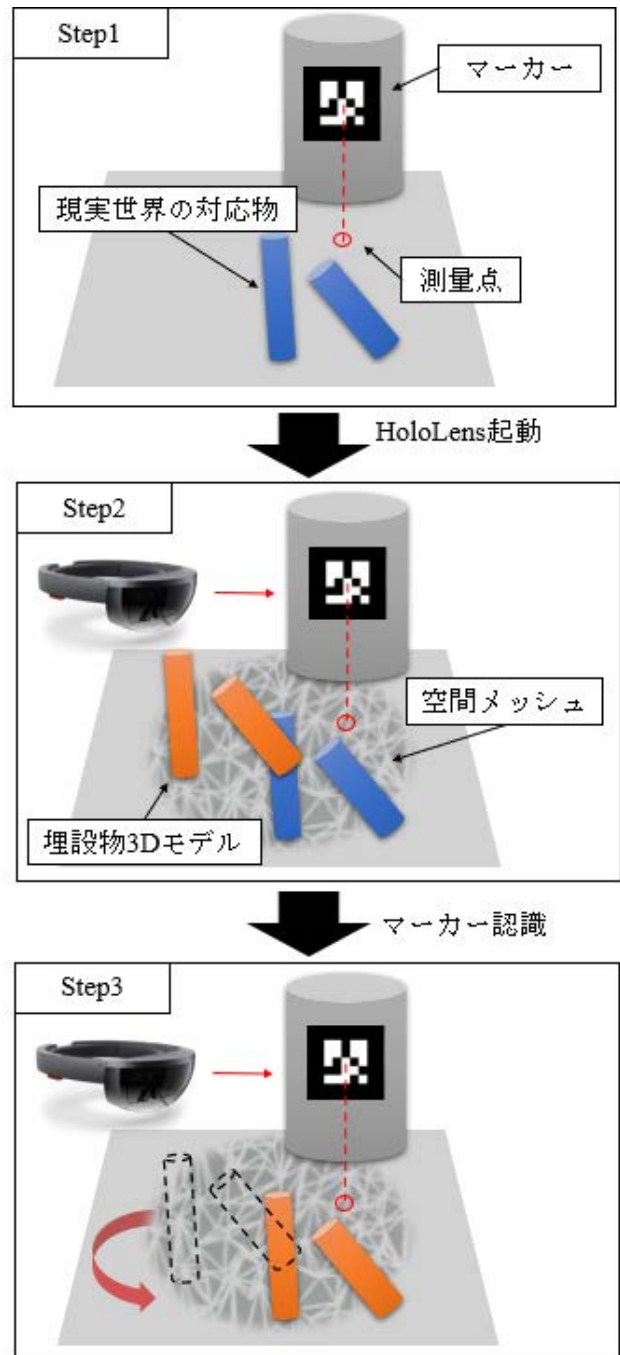


図-8 マーカー及び位置合わせ

(3) 体験

本システムは、アプリケーション実行後、Spatial Mapping によりユーザー周辺の空間認識が行われ、周辺空間の形状を有したメッシュが自動的に生成される。また、Spatial Understanding により地面を認識する。ユーザーは、地面に生成されたメッシュ上にモデルを配置するのだが、このとき、配置したい箇所に Gaze で視線カーソルを合わせ、Air Tap で選択されたモデルを移動することで、空間メッシュと視線方向との接点上にモデルを配置することができる。本研究では、ボタンメ

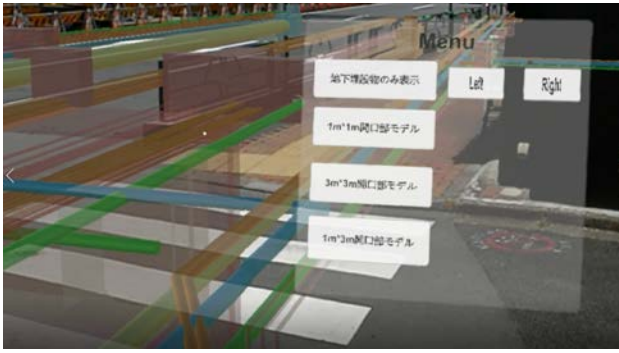


図-9 埋設構造物モデルのみ可視化

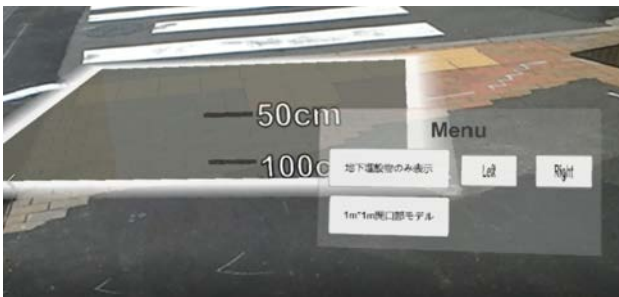


図-10 開口部モデルの可視化 1

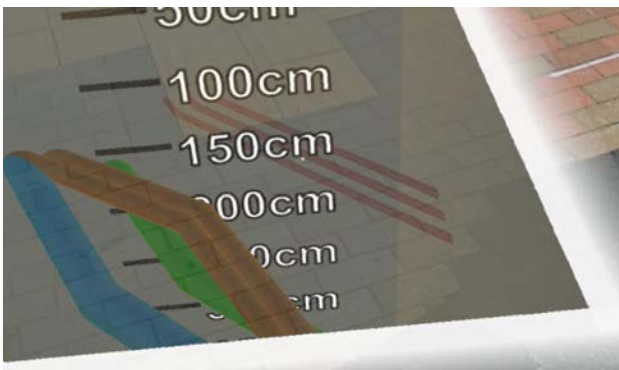


図-11 開口部モデルの可視化 2

ニューを設け、ボタン操作で地下埋設構造モデルと開口部モデルの表示・非表示を切り替えるようにした。また、開口部モデルの見える範囲に対して1m四方と3m四方二つの開口部モデルを設け、ボタン操作で切り替える機能を追加した。

4. MR システムの適用例

本研究で構築した MR 可視化システムを用いて、施工現場における地下埋設構造物の MR 可視化を行った。一般に、埋設構造物の CAD モデルを描画すると CAD モデルが映像の上に常時されるため浮いて見えるとい

う課題があった。本システムでは、この問題点を解決するために、可視化したい領域のみ表示をする正方の開口部モデルを用いて、マスキング処理することを行った。

図-9 は開口部モデルを用いずに埋設物 CAD モデルのみ可視化したものである。図より、地上に浮いているように見える結果となることが分かる。そこで、図-10、図-11 に示すように、深さ目盛付きの開口部モデルを配置することで立体的に違和感なく埋設物モデルを可視化できることが分かる。また、位置合わせに必要なマーカーを固定の既設構造物に設置したことにより、簡便でかつ容易に CG モデルを正しい位置に重畳できるようになった。

5. おわりに

本論文では、三次元空間の認識とそれに伴う自己位置推定技術を搭載した光学シースルーヘッドマウントディスプレイを用いた地下埋設構造物の MR 可視化システムの構築を行った。適用例を通じて、以下の結論を得た。

- 位置合わせのときに必要なマーカーを固定の既設構造物に設置したことにより、簡便でかつ容易に CG モデルを正しい位置に重畳できることが確認できた。
- 地下埋設構造物の可視化において、深さ目盛付きの開口部モデルを用いることで立体的に違和感なく地下埋設物モデルを可視化できることが確認できた。

今後の課題として、ハンドジェスチャー操作を認識できない場合の検討と HoloLens2 の適用性の検討が挙げられる。

参考文献

- 1) 池田 直旺, 樫山 和男, 吉永 崇, 琴浦 毅, 石田 仁: 施工現場における地下構築物の AR 可視化システムの構築, 計算工学講演会論文集, Vol.24, C-13-01, 2019.
- 2) 花立 麻衣子, 菅田 大輔, 宮地 英生, 樫山 和男, 前田 勇司, 西畑 剛: 水環境流れ問題のためのマーカーレス AR システムの構築と適用性の検討, 土木学会論文集 F3(土木情報学), Vol.72, No.2, pp.192-199, 2016.
- 3) 吉永 崇: 次世代 AR デバイスの紹介—Microsoft HoloLens と Google Tango の概要と利用事例—, 可視化情報学会誌, Vol.37, No.146, pp.128-133, 2017.07.
- 4) MRTK: Getting started with MRTK—Mixed Reality Toolkit Documentation<<https://github.com/Microsoft/MixedRealityToolkit-Unity/releases>>, (入手 2019.10.26) .
- 5) Microsoft: Microsoft HoloLens-Mixed Reality Technology for Business, <<https://www.microsoft.com/en-us/hololens>>, (入手 2019.11.12) .
- 6) Vuforia: Vuforia Developer Portal, <<https://developer.vuforia.com>>, (入手 2019.10.06) .