

Extended Tracking 技術に基づく 環境流れ問題のための マーカーレス AR 可視化システムの構築

菅田 大輔¹・櫻山 和男²・宮地 英生³・前田 勇司⁴・
道前 武尊⁵・西畑 剛⁶・厚山 伊智朗⁷・横山 侑機⁸

¹学生会員 中央大学大学院 理工学研究科 都市環境学専攻 (〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27)
E-mail: sugeta@civil.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 京都市大学教授 メディア情報学部 情報システム学科 (〒224-8551 神奈川県横浜市都筑区牛久保西 3-3-1)
E-mail: miyachi@tcu.ac.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: Yuuji.Maeda@mail.penta-ocean.co.jp

⁵非会員 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: Takeru.Michimae@mail.penta-ocean.co.jp

⁶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: Takeshi.Nishihata@mail.penta-ocean.co.jp

⁷非会員 五洋建設株式会社 東京土木支店 (〒112-8576 東京都文京区後楽 2-2-8)
E-mail: Ichirou.Atsuyama@mail.penta-ocean.co.jp

⁸非会員 五洋建設株式会社 東京土木支店 (〒112-8576 東京都文京区後楽 2-2-8)
E-mail: Yuuki.Yokoyama@mail.penta-ocean.co.jp

本論文は、スマートデバイスを用いた環境流れ問題のためのマーカーレス AR 可視化システムの構築を行ったものである。マーカーレス AR 技術には、トラッキングのロバスト性を向上させた Extended Tracking 技術を用いている。本システムの有効性を確認するため、構造物周辺の大気環境流れ問題および海上工事現場における水環境流れ問題を取り上げ、本システムの適用性について検討を行った。その結果、本システムは環境流れ問題の AR 可視化ツールとしてロバスト性が高く有効であることが確認された。

Key Words: *markerless augmented reality, visualization, extended tracking, environmental flow simulation*

1. はじめに

著者らはこれまで、現地において撮影した風景画像を用いた大気環境流れ問題のためのマーカーレス AR 可視化システムの構築を行い、その妥当性と有効性について検討してきた¹⁾。しかし、著者らの既往のシステムには、以下に示す二つの問題点があった。一つ目の問題点として、ノート PC を用いた AR アプリケーションソフトの開発であったため、AR 空間を観察するために、ユーザーが現地に重いデバイス(ノート PC)を持ち運ぶ必要があった。二つ目の問題点として、著者らの既往のシステムは、ターゲットとするマーカー画像内部の特徴点を使用するため、その特徴点が少ない場合には適用性に限界があった。

そこで本論文では、上記の一つ目の問題点を解決するために、近年普及の著しいスマートデバイスであるスマートフォンを用いて大気および水環境における流れ

問題のためのマーカーレス AR 可視化システムの構築を行った。また、二つ目の問題に対しては、新たなマーカーレス AR 技術として、マーカー画像のみならずマーカー画像の周囲に存在する情報を利用することによりロバスト性を向上させた Extended Tracking 技術^{2),3),4)}を用いた。

本システムの妥当性と有効性を確認するため、前報¹⁾において適用してきた構造物周辺の大気環境流れ問題を取り上げ、Extended Tracking 技術に基づくマーカーレス AR 技術を用いた本システムの有効性について、著者らの既往のシステムとの比較のもとに検討を行った。また、応用例として、マーカー画像内部の特徴点が少ない海上工事現場における水環境流れ問題を取り上げた。なお、AR アプリケーションソフト開発用ライブラリには、Vuforia SDK^{5),6),7)}を用いた。Vuforia SDK とは、Qualcomm 社が提供している Android や iOS などのモバイル端末向けの AR アプリケーションソフト開発用ラ

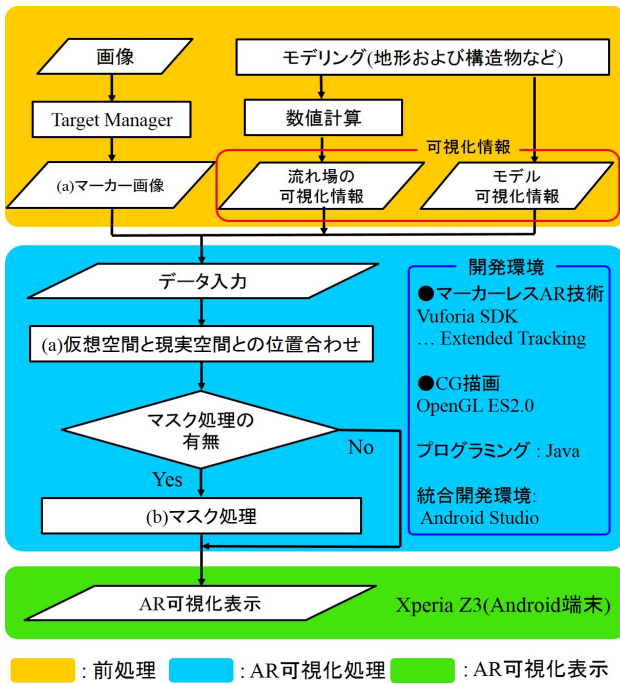


図-1 本システムのフローチャート

イブラリであり、統合型のゲーム開発環境である Unity にも対応している。

2. マーカーレス AR 可視化システム

図-1 に本システムのフローチャートを示す。本システムは、前処理、AR 可視化処理および AR 可視化表示から構成される。

(1) AR 可視化処理の開発環境

AR 可視化処理において生成される AR アプリケーションソフトは Android 端末向けに開発しており、統合開発環境には Android Studio⁸⁾を用いている。なお、プログラミング言語は Java を用いて記述している。また、CG 映像の描画には OpenGL ES 2.0 ライブラリ⁹⁾を用いている。また、マーカーレス AR 技術には、Vuforia SDK を用いており、トラッキング手法としてはロバスト性を向上させた Extended Tracking 技術を用いている。以下に著者らの既往のシステムおよび本システムで用いたマーカーレス AR 技術における画像認識手法の差異について述べる。

a) マーカー画像内部の特徴点検出に基づく手法 (著者らの既往のシステムで用いた手法)

マーカー画像内部の特徴点検出に基づく手法では、はじめに図-2 左に示すようにあらかじめ登録されたマーカー画像内部の特徴点 (+ で表示) をカメラが検出を行う。その後、マーカー画像内部の特徴点を用いてカメラ

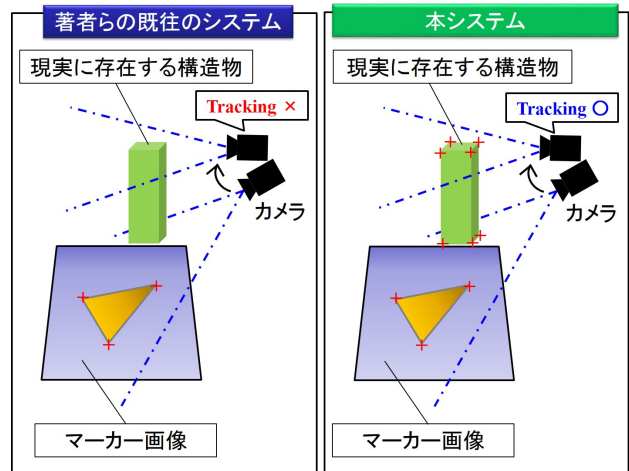


図-2 マーカーレス AR 技術における画像認識手法の差異

の位置・姿勢をリアルタイムに計算することで、AR 可視化表示を行う。なお、この手法を用いて AR 可視化表示を実現するためには、マーカー画像をカメラがとらえ続けている必要がある。

b) Extended Tracking 技術に基づく手法 (本システムで用いた手法)

Extended Tracking 技術に基づく手法では、マーカー画像内部の特徴点検出に基づく手法と同様に、はじめにあらかじめ登録されたマーカー画像内部の特徴点 (+ で表示) をカメラが検出を行う。その後、図-2 右に示すようにマーカー画像内部の特徴点およびマーカー画像周辺の特徴点の情報 (図-2 では現実に存在する構造物の特徴点) を用いて、カメラの位置・姿勢をリアルタイムに計算することで、AR 可視化表示を行う。

この手法では、マーカー画像周辺の特徴点の情報が AR 可視化表示を行う環境中の新たなターゲットとして追加されていく。そのため、あらかじめマーカー画像内部の特徴点を検出しておけば、マーカー画像がカメラビュー上に映っていない場合やマーカー画像がカメラビューに対して小さくなっていく場合であっても、マーカー画像の存在する相対的な位置が把握可能となるため、AR 可視化表示が持続する。

(2) 前処理

前処理においては、後述する AR 可視化処理において必要となる入力データを生成する。入力データは、以下に示す情報を用いる。

a) マーカー画像

AR 可視化表示の直前に現地において撮影した風景画像を Vuforia の Target Manager¹⁰⁾を通じて、マーカー画像に変換し、これをダウンロードする。なお、Vuforia の Target Manager とは、オンライン上でターゲットと

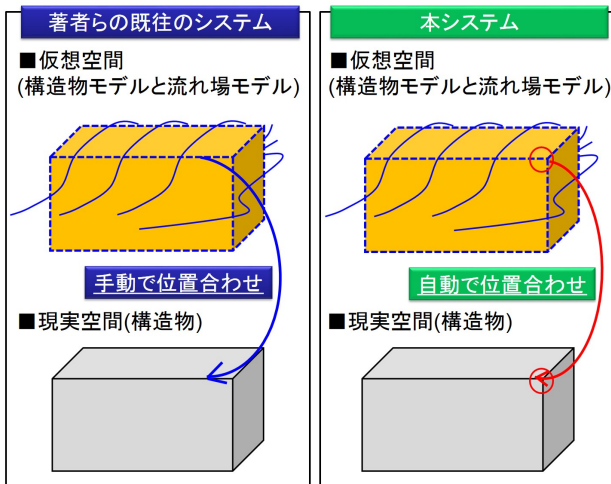


図-3 仮想空間と現実空間との位置合わせ手法

するマーカー画像データを生成し、それを管理するものである。

また、VuforiaのTarget Managerがユーザーに提供する情報として、次に述べる二つの情報がある。一つめとして、生成したマーカー画像内部に表示された特徴点分布の情報が与えられる。なお、特徴点は、マーカー画像を検出および追跡するために利用され、画像における輪郭線上に発生する。また、特徴点はその数が多く、マーカー画像全体に分布していることが好ましいとされている。

二つめとして、Vuforia SDK^{5),6),7)}を用いてAR可視化表示を行う際のマーカー画像の検出と追跡のしやすさの情報が与えられる。マーカー画像の検出と追跡のしやすさは0から5までで評価される。なお、3以上の場合に検出と追跡が容易に可能であるとされている¹⁰⁾。以上より、ユーザーはAR可視化表示を行う前に現地のマーカー画像の特徴点分布や検出と追跡のしやすさを把握することが可能となる。

b) 可視化情報

可視化情報に地形を含む構造物のモデル可視化情報とそれを用いて得られる流れ場の可視化情報を用いる。具体的には、流れ場の可視化情報は流れの支配方程式を解く^{11),12)}ことにより得られる流速ベクトルや水位の情報である。また、モデル可視化情報は地形を含む構造物のモデリングの際に生成した形状データであり、面情報のみならず線分情報も含む。

(3) AR可視化処理

AR可視化処理は、著者らの既往のシステム¹⁾と同じ処理工程である。以下では、本システムにおいて改良した点について述べる。

a) 仮想空間と現実空間との位置合わせ

著者らの既往のシステムにおける仮想空間と現実空間との位置合わせ処理は、図-3左に示すように、数値計算で用いたメッシュの境界辺(図-3構造物モデル青の点線部分)がカメラビュー上に存在する現実構造物の壁面境界と一致するように目視でパラメーターを決定し、位置合わせを行っていた。

本研究で構築したシステムにおける仮想空間と現実空間との位置合わせ処理は、図-3右に示すように数値計算で用いたモデルのある点(節点位置)とマーカー画像内部(現実空間)のある点とがマーカー画像座標系上において一致するように移動パラメーターを計算し、位置合わせを行っている。なお、位置合わせの対象となる仮想モデル(図では、構造物モデルおよび流れ場モデル)の向きは、マーカー画像を撮影したカメラ視点から見た場合の向きに一致した状態となるように回転パラメーターの設定をあらかじめ行っている。また、マーカー座標系は現実のスケールと整合が取れるよう、マーカー画像サイズの変更を行っている。

b) マスク処理

仮想空間と現実空間との位置合わせ処理後、構造物背面領域に存在する不可視領域の流れ場の可視化情報と対象構造物との前後関係を考慮する必要のある視点からシステムを適用する場合、構造物モデルにマスク処理を施す。なお、マスク処理の詳細については参考文献¹⁾を参照されたい。

ただし、本システムを適用する際、可視化のニーズによっては、流れ場の可視化情報とともに構造物モデルのAR可視化表示を行う場合もあると考えられる。そこで、本研究では、本システムを適用する各目的に合わせて、構造物モデルにマスク処理を施すか否かの判断を行う。なお、マスク処理は構造物とその背面領域に存在する情報との前後関係を考慮するために施す処理であるため、カメラビュー内部に前後関係を考慮する必要性のある構造物が存在しない例題に本システムを適用する場合、この処理の適用は行われない。

(4) AR可視化表示

以上より、生成したARアプリケーションソフトをUSBケーブルを通じてスマートデバイスへ移行し、AR可視化表示を行う。なお、本論文で使用したスマートデバイスは、Android OSに基づくモバイル端末であるXperia Z3を用いている。

3. 本システムの有効性の検討

本システムの有効性を確認するため、大気環境流れ問題と水環境流れ問題を取り上げた。大気環境流れ問題の

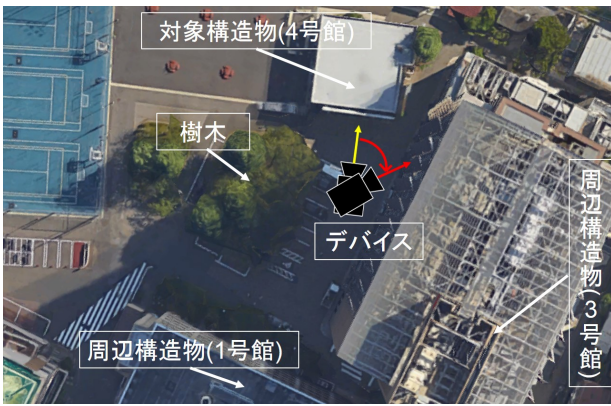


図-4 検証地周辺

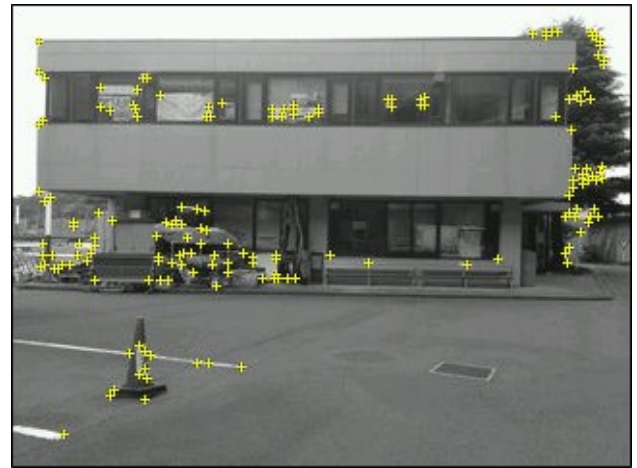


図-6 マーカー画像内部の特徴点分布



図-5 マーカー画像



図-7 検証開始位置における比較

例では、構造物周辺の大気の流れを取り上げ、Extended Tracking 技術に基づく本システムの有効性を著者らの既往のシステムとの比較のもとに検討した。また、水環境流れ問題の例では、マーカー画像内部に特徴点が少ない場合の本システムの有効性を確認するため、沖合のケーソン据付工事現場における潮流の水環境流れ問題を取り上げた。

(1) 構造物周辺の大気環境流れ問題における適用

はじめに、構造物周辺の大気環境流れ問題を取り上げた。具体的には、図-4 に示す中央大学理工学部内にある構造物(4号館)周辺の大気環境流れシミュレーション結果のAR可視化表示を行った。本例題の検証開始時におけるカメラ視点および方向は、図-4のデバイスの位置および黄色矢印の方向に示すとおりである。

a) マーカー画像

本例題において用いたマーカー画像として、図-5に示すような流れの解析対象とした構造物(4号館)を含めた風景画像を使用した。なお、このマーカー画像はAR可視化表示を実施する直前に、現地において撮影し

たものである。また、VuforiaのTarget Managerより、図-6に示すようなマーカー画像内部に存在する特徴点の分布図を得た。図-6において、特徴点は黄色十字記号で表示されている。なお、VuforiaのTarget Managerより、マーカー画像の検出と追跡のしやすさの指標は0から5までのうち3であり、検出および追跡が容易に可能である値となった¹⁰⁾。理由としては、検証対象とするマーカー画像の構造物周辺の機材や構造物側面や境界などに多くの特徴点が分布していることによると考えられる。

b) 適用性に関する比較方法

本システムの有効性を確認するため、著者らの既往のシステムと適用性について比較を行った。なお、著者らの既往のシステムのデバイスにはタブレット型ノートPCのSurface Pro3を用いた。

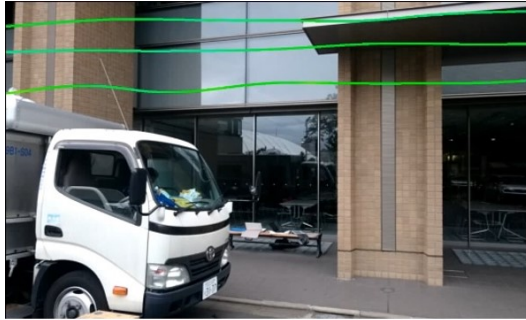
比較方法としては、各デバイスを図-4に示すようにカメラが対象構造物に正対する向きから右回り(時計回り)に緩やかに回転移動させ、AR可視化表示のロバスト性を比較した。なお、検証に際しては、各デバイスを三脚に固定して行い、同一条件で10°ずつ回転させて行った。

c) システムの検証結果

図-7に、検証開始位置における両システムによる大気の流れを表す流線のAR可視化結果を示す。なお、流



図-8 60°位置における比較



90°



180°



270°

図-9 他の回転角度における可視化結果

現場の可視化情報と対象構造物との前後関係を考慮するために、対象構造物にはマスク処理を施している。図より、両システムともに、流線のCGが正しくAR可視化表示されていることが分かる。この位置から、右回りに緩やかに回転移動させたとこ、図-8に示すように著者らの既往のシステムではExtended Tracking機能を有していないため、60°の位置でAR可視化表示が困難となった。一方、本システムでは図-9に示すように、さらに回転させてもAR可視化表示が可能であ



図-10 東京湾新海面処分場Dブロック南側護岸建設工事現場



図-11 検証に使用した作業船

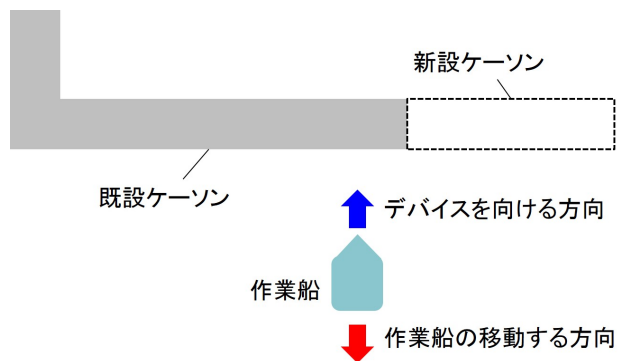


図-12 検証時の平面図

り、最終的には360°回転することが可能であった。また、その時の結果は図-7の結果と同じであった。以上より、本システムは回転移動に対しては高いAR可視化表示性能を持つことが明らかとなった。



図-13 マーカー画像



図-14 マーカー画像内部の特徴点分布

(2) 海上工事現場における適用

次いで、マーカー画像内部の特徴点の少ない事例として、海上工事現場における水環境流れ問題を取り上げた。なお、ここで取り上げた海上工事現場は、図-10に示す東京湾新海面処分場Dブロック南側護岸建設工事現場である。本検証は海上において図-11に示すような作業船を用いて行った。図-12に、作業船とケーソンの位置関係を示す。本検証では、既設ケーソンと新たに据え付けが行われている新設ケーソンの周辺の潮流のAR可視化表示を行った。本例題では、図-12に示す青色矢印の指す方向へデバイスに向け、後方にどの程度の移動が可能かについて検討を行った。

a) マーカー画像

マーカー画像として、図-13に示すような既設および新設ケーソンを含む画像を選定した。なお、このマーカー画像はAR可視化表示を実施する直前に、作業船上から撮影したものである。また、VuforiaのTarget Managerより、図-14に示すようなマーカー画像内部に存在する特徴点の分布図を得た。また、VuforiaのTarget Managerより、マーカー画像の検出と追跡のしやすさの

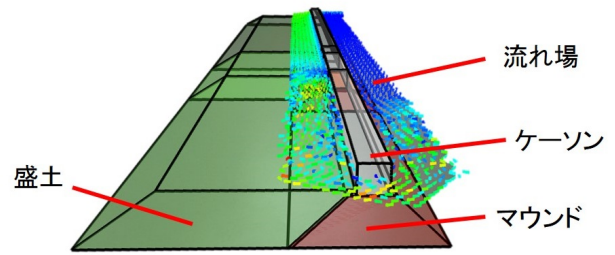


図-15 AR可視化表示するCG



図-16 検証の様子

指標は0から5までのうち0であり、特徴点分布としては最も認識度の低いものであった。理由としては、既設および新設ケーソンの継ぎ目箇所の水位を示す目盛り部分に局所的に特徴点が集中して発生し、その他の領域には特徴点が存在しないことによると考えられる。

b) 可視化情報

本例題では、流れ場の可視化情報として、あらかじめ計算されたケーソンモデル(図-15ケーソン参照)周辺の水面上の潮流場(図-15流れ場参照)を用いた。また、物理量の可視化手法として、流速ベクトルを採用した。ここで色は、流速の大きさが大きいほど赤く、小さいほど青く、中間の大きさの場合は緑となるようにグラデーションを施している。また、モデル可視化情報として、流速ベクトルの他に、ケーソン、マウンド、盛土についても色分けしたCGを用いた。なお、構造物モデルはマスク処理をせずに透過処理を施した面で構成することにした。これにより、ユーザーはAR可視化表示の際に実際の構造物とCGとの一致度の確認が容易となる他、現実空間の水面の位置を認知しながら、水面下の構造物を把握可能となる。

c) システムの検証結果

適用性の検討として、図-12に示すようにマーカー画像に正対するような状態で徐々に船を後退させて、CG

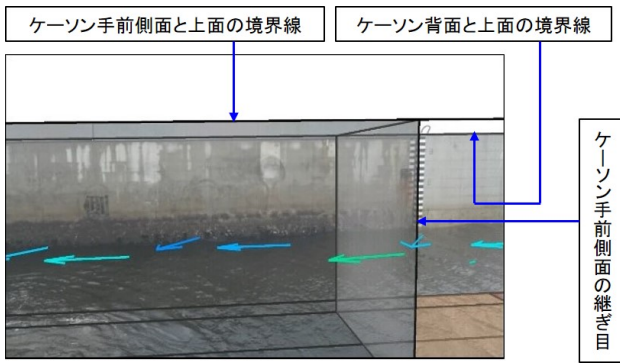


図-17 検証開始時の AR 可視化結果

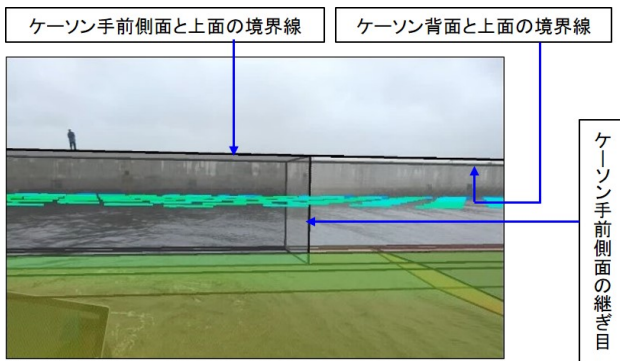


図-18 限界位置における AR 可視化結果

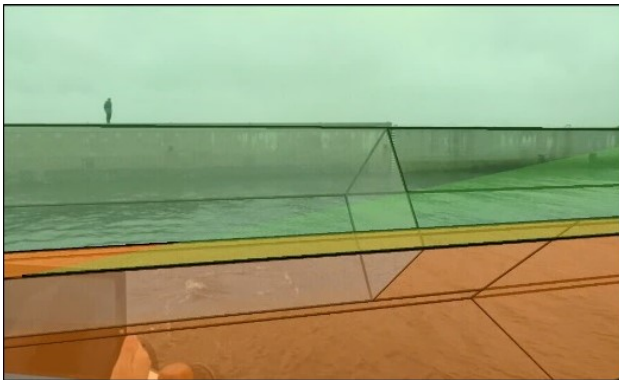


図-19 限界位置を越えた位置における AR 可視化結果

が安定に AR 可視化表示される距離の限界を調べた。なお、距離の測定にはレーザー距離計を用いた。図-16 に作業船上から検証している様子を示す。また、図-17 に検証開始位置における AR 可視化結果を示す。このときのケーンソン側面とデバイス間の距離は 12 m であった。Vuforia の Target Manager が示したマーカー画像の検出および追跡のしやすさの指標は 0 であったが、CG は現実空間に一致した状態で正しく AR 可視化表示されていることが分かる。図-18 に CG が正しく安定に AR 可視化表示される限界の位置における AR 可視化結果を示す。また、このときのケーンソン側面とデバイス間の距離は 27 m であった。この結果より、後方移動によりカメラビュー内のマーカー画像領域が小さくなる本例題

の場合、およそ 15 m の AR 空間の観察が可能であることを確認した。また、図-19 にさらに後方に移動した場合 (27 m) の AR 可視化結果を示す。図より、CG が現実空間に一致しない状態で回転して AR 可視化表示され、AR 空間の観察が困難となっていることが分かる。この理由として、後方移動に伴うマーカー画像およびその周囲の特徴点数の減少が考えられる。なお、本例題では、特徴点が少ないため、著者らの既往のシステムでは、AR 可視化表示を行うことが全く困難であった。

4. おわりに

本論文では、スマートデバイスを用いた Extended Tracking 技術に基づく環境流れ問題のためのマーカーレス AR 可視化システムの構築を行った。本システムの検証例題として、構造物周辺の大気環境流れ問題および海上工事現場における水環境流れ問題を取り上げ、AR 可視化表示を行った。検証例題を通じて、以下に示す結論を得た。

- スマートデバイスにおける環境流れ問題の AR 可視化表示が可能となった。
- カメラビューからマーカー画像が外れるような移動、マーカー画像がカメラビュー内に対して小さくなる移動を行った場合であっても、可視化が持続するため、広範囲の AR 空間が観察可能となった。
- マーカー画像内部に特徴点の少ない海上工事現場において、AR 可視化表示の安定性が高いことを確認した。

今後は、非定常の情報を AR 可視化表示するシステムの構築について検討する予定である。

参考文献

- 1) 菅田 大輔, 櫻山 和男, 宮地 英生, 前田 勇司: 環境流れ問題のためのマーカーレス AR 可視化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.71, No.2, pp.196-203, 2016.
- 2) Cukovic, S., Gattullo, M., Pankratz, F., Devedzic, G., Carrabba, E. and Baizid, K.: Marker based vs. natural feature tracking augmented reality visualization of the 3D foot phantom, The International Conference on Electrical and Bio-medical Engineering, Clean Energy and Green Computing (EBECEGC2015), pp.24-31, ISBN:978-1-941968-06-2, 2015.
- 3) Jiang, B. and Neumann, U.: Extendible tracking by line auto-calibration, IEEE and ACM International Symposium on Augmented Reality, pp. 97-103, 2001.
- 4) Krevelen van D. W. F. and Poelman, R.: A survey of augmented reality technologies, applications and limitations, The International Journal of Virtual Reality, pp. 1-20, 2010.
- 5) Vuforia Developer Portal, <<https://developer.vuforia.com/>>, (アクセス 2016.10.12).
- 6) Amin, D. and Govilkar, S.: Comparative study of augmented reality sdk's, International Journal on Computational Sciences Applications (IJCSA), pp11-26, 2015.

- 7) Haynes, P. and Lange, E. : Mobile augmented reality for flood visualisation in urban riverside landscapes, Journal of Digital Landscape Architecture, pp. 254-262, 2016.
- 8) <<https://developer.android.com/index.html>>, (アクセス 2016.10.26).
- 9) OpenGL ES 2.0, <<https://www.khronos.org/opengles/>>, (アクセス 2016.10.12).
- 10) <<https://library.vuforia.com/articles/Solution/Natural-Features-and-Ratings>>, (アクセス 2016.10.12).
- 11) 利根川 大介, 櫻山 和男:安定化有限要素法による津波遡上および流体力の解析手法の構築, 土木学会論文集 A2(応用力学), Vol.12, pp.127-134, 2009.
- 12) 池田 哲也, 櫻山 和男:安定化有限要素法による都市の温熱環境解析手法の構築, 土木学会論文集 A2(応用力学), Vol.69, No.2, pp.107-114, 2013.

(2016. 10. 27 受付)

Development of a Visualization System for Environmental Flow Problem using Markerless Augmented Reality based on Extended Tracking

Daisuke SUGETA, Kazuo KASHIYAMA, Hideo MIYACHI, Yuuji MAEDA, Takeru MICHIMAE, Takeshi NISHIHATA, Ichirou ATSUYAMA and Yuuki YOKOYAMA

This paper presents a visualization system for environmental flow problem based on markerless augmented reality using smart device . The extended tracking method is employed to improve tracking performance for a markerless augmented reality . In order to investigate the validity and efficiency of the present system, the present method is applied to the air flow problem around the building in urban area and water environmental problem in marine construction site . From the results, the present system is shown to be a useful tool for AR visualization of environmental flow simulation .