

(68) 環境流れ問題のための AR可視化システムの構築と適用性の検討

菅田 大輔¹・榎山 和男²・宮地 英生³・岩塚 雄大⁴

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 サイバネットシステム株式会社 ビジューアライゼーション事業部 (〒101-0022 東京都千代田区神田練堀町 3)
E-mail: miyachi@cybernet.co.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: Yuudai.Iwatsuka@mail.penta-ocean.co.jp

本論文は、都市における大気環境流れ問題に対するAR可視化システムの構築を行ったものである。具体的には、都市空間の風景画像をあらかじめコンピュータに登録することで、カメラ映像から平面画像認識を行う2DマーカーレスAR手法を用いて気流の可視化を行った。本システムを単一の構造物まわりの大気環境シミュレーションに適用し、本システムの適用性について検討を行った。

Key Words: markerless augmented reality, visualization, environmental flow simulation

1. はじめに

近年、計算機の性能の飛躍的な向上に伴い、都市の大気環境流れ現象の予測・把握に流体シミュレーションが広く行われている¹⁾。流体シミュレーションにより得られた計算結果をユーザーが正しく理解するためには、現象を直感的にイメージ可能な可視化技術が必要とされる。その可視化技術のひとつとして、現実世界の映像に情報を付加し、現実を拡張できるAR(Augmented Reality)技術が注目されている。流体シミュレーションのAR可視化の既往研究には、Yabukiら²⁾に提案された温熱環境可視化システムがある。このシステムは、現実物体の特徴点と点群データとの対応づけをすることにより、高精度な位置合わせを可能にするものである。しかし、この点群データ取得には3次元レーザースキャナを必要とする。

本論文では、任意の写真等の平面画像をコンピュータに登録することにより、カメラ映像から平面画像認識を行う2DマーカーレスARによるトラッキング技術を用いたAR可視化を採用した。本システムの検証実験として構造物周りの大気環境シミュレーションを例題に取り上げ、現実空間に流速ベクトルを重畳した。また、ベクトルを重畳する際、描画したCG情報の一部がカメラ映像を覆い隠し適切に重畳されないというAR特有の問題に対し、3次元CGモデルを用いた前景処理手法の導入を行った。このシステムは、都市にお

ける広領域の大気環境流れに対するビューアシステムとして機能し、合意形成・教育ツールとして資することを意図している。

2. 本システムの概要

本システムによるフローを図-1に示す。本システムの構築に際して、2DマーカーレスARによるトラッキング技術にはMetaio SDK³⁾を使用している。また、CG情報の描画にはOpenGL, GLMetaseqライブラリ⁴⁾を用いている。なお、プログラミングはC++を用いている。



図-1 本システムのフロー

(1) データ入力

構造物周りの風環境シミュレーションを例に取り，AR可視化を行うため，以下に列挙する3種類のデータを入力する．

a) 風景画像データ

解析対象の構造物を含めた風景画像データを入力する．この画像データをカメラが検出することにより屋外における2D マーカーレス AR を実現する．

b) 構造物モデルデータ

後述する前景処理パート内において，必要となる解析対象の構造物モデルデータを入力する．

c) 計算結果データ

流体シミュレーションから得られた計算結果データを入力する．流体シミュレーションには，有限要素法による等温場流れの3次元 Navier-Stokes 方程式を用いた数値計算を行っている．詳細については参考文献¹⁾を参照されたい．

(2) 物理量の可視化処理

流れ場の可視化手法として，本論文では流速ベクトルを採用し，流速ベクトルの可視化表現として円錐を用いている．なお，流速の大小は円錐の色により表現し(流速の大きさが大きいほど赤く，小さいほど青くなるようグラデーションを施している)，円錐の大きさは一定とした．

a) ベクトルデータの設定

ベクトルデータの設定には，計算節点における点群データを用いている．データ構成は， $(x, y, z, r, g, b, u, v, w, s1, s2)$ となっており，解析領域内部の節点数分だけの膨大な数値情報が記録されている． (x, y, z) は3次元空間の位置を示し，解析領域内部における各節点に対応する． (r, g, b) は色情報を示し，数値は0~1.0までの値を取る．また， (u, v, w) は x 方向， y 方向， z 方向の節点における流速の大きさ情報を示している． $(s1, s2)$ はベクトルの向きを表現するために用いる回転量情報を示している．

(3) 仮想空間と現実空間の位置合わせ

設定したベクトルデータは仮想空間内において作成しているため，現実空間内における位置情報を保持していない．仮想空間と現実空間との幾何学的整合性を取るため，位置合わせを行う．具体的には図-2に示す各軸方向への移動量 (Tx, Ty, Tz) ，各軸方向への拡大・縮小によるスケール量 (Sx, Sy, Sz) ，各軸まわりの回転量 (Rx, Ry, Rz) である合計9つのパラメータを用いて，重畳する．

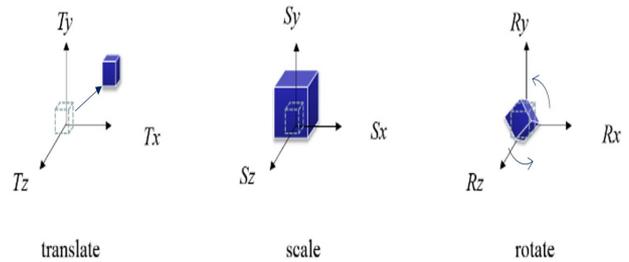


図-2 位置合わせ用パラメーター

(4) 前景処理

ここまでの作業工程では，描画したCG情報をカメラ映像の上から重ね合わせたのみである．そのため，ユーザーがあるカメラ視点から見た際に，本来であれば不可視状態となるはずの領域に存在するベクトルが可視状態となり，前後の位置関係が正しく可視化されないという問題が発生する．そこで，この問題を解決するために以下に示す方法により前景処理を行う．

a) モデルの重畳

はじめに，設計図面などをもとに解析対象構造物と等しい形状の3次元CGモデルを作成する．次に，現実の構造物と仮想空間上の3次元CGモデルが等しくなるように重畳を行う．なお，3次元CGモデルは，Metasequoiaにて出力可能なmqo形式のファイルをGLMetaseqライブラリを通して読み込み，OpenGLで描画を行っている．

b) マスク処理

次いで，重畳した3次元CGモデルに対してマスク処理を施す．3次元CGモデルの影となった部分が描画されなくなることによって，前景処理が完了する．

3. 本システムの検証実験

本システムの妥当性の検証を行うため，図-3に示すような解析領域を用いて，構造物まわりの気流シミュレーションを行った¹⁾．なお，解析条件として側面・上端面にはslip条件，底面・構造物壁面にはnon-slip条件を用いている．

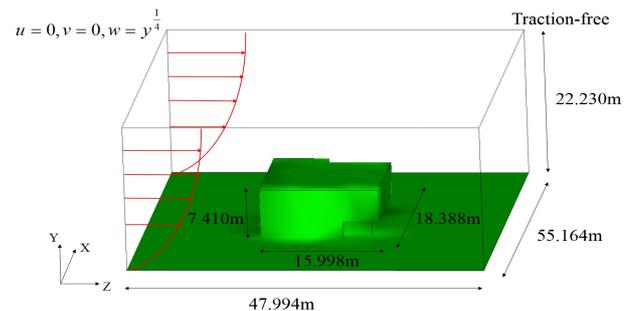


図-3 解析領域



図-4 AR 可視化の様子

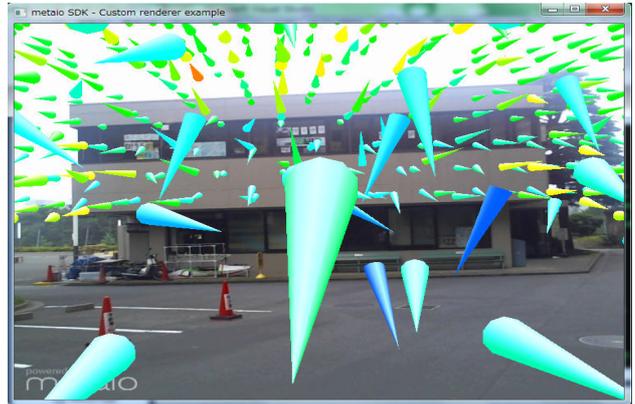


図-6 前景処理前



図-5 マーカーに選定した風景画像

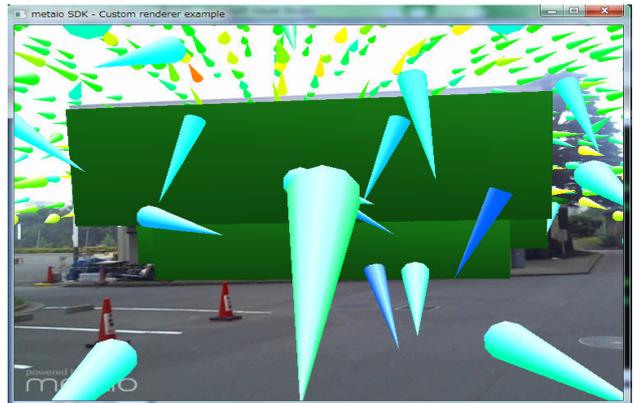


図-7 前景処理中

図-4 はユーザーが本システムによる AR 可視化で提示する流れ場を評価・観察している様子である。また、マーカーとしては、図-5 に示すように、あらかじめ屋外構造物が入る風景画像を撮影しておき、これを選定した。その後、ベクトルに対して、仮想空間と現実空間における幾何学的整合性を取るために位置合わせを行った。図-6 は、前景処理前の可視化結果を示している。本来、不可視状態となる奥の領域に存在するベクトルが構造物を覆うように存在し、計算結果が正しく可視化されていない。そこで図-7 に示すように構造物の寸法と等しい 3 次元 CG モデルを重畳する。その後、重畳した 3 次元 CG モデルにマスク処理を施した前景処理後の可視化結果を図-8 に示す。これにより、構造物を覆うように存在していた領域のベクトルがマスク処理によって隠され、計算結果が正しく可視化されていることを確認した。

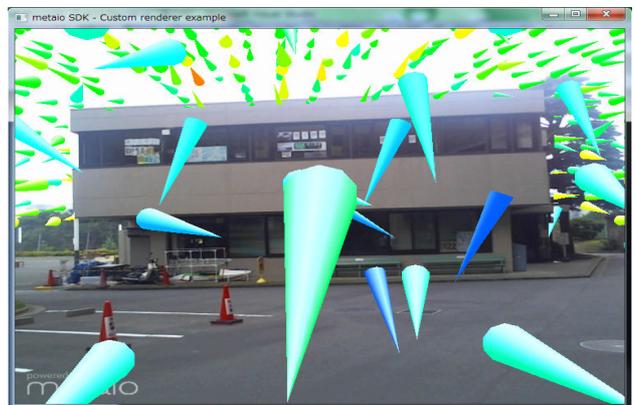


図-8 前景処理後

4. 2D マーカーレス AR 手法の適用限界

平面画像をマーカーとする 2D マーカーレス AR によるトラッキングを用いた可視化手法の 3 次元空間における適用限界について検討するため、以下に示す 2 つの指標を用いて行った。

(1) マーカーの領域割合

マーカーに選定した空間に正面から近づいていくことでトラッキング可能な限界の位置を調べ、適用限界となるマーカーの領域割合を算出した。本検証では図-9 赤丸、図-10 に示すようにマーカー割合が 11% (約 1 割) となる位置までカメラ視点を移動させることが可能であった。

(2) マーカー正面からのずれ角度

次いで、マーカーに選定した空間を正面から捉え、AR 可視化された流れ場を弧を描くように移動することで、

トラッキング可能な限界の位置を調べ、適用限界となるマーカー正面からのずれ角度(図-9中の α と β)を算出した。マーカーに対して真正面から向き合った位置における実行結果を図-11左上に示す。この位置を中心として、正しく可視化される限界のずれ角度は図-9青線、図-11右上、左下に示すように中心から左右ともに約 15° (α) となることを確認した。正しく可視化される限界の角度を超える位置に移動すると、トラッキングは可能であるが、図-11右下に示すように可視化するオブジェクトがずれてしまう結果となった。検証の結果、トラッキング可能な限界のずれ角度は図-9赤線に示すように中心から左右約 65° (β) であることを確認した。

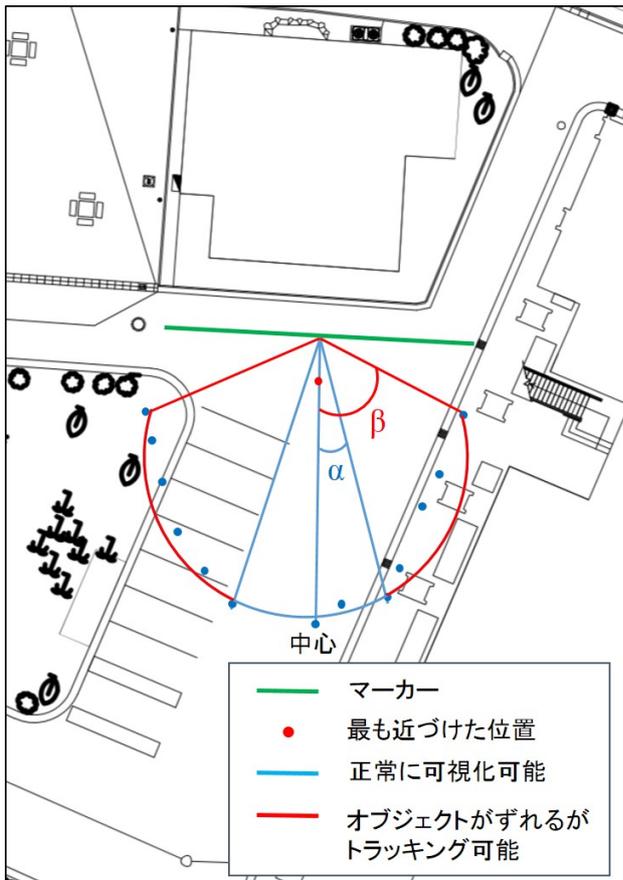


図-9 適用限界の検証



図-10 マーカーの領域割合

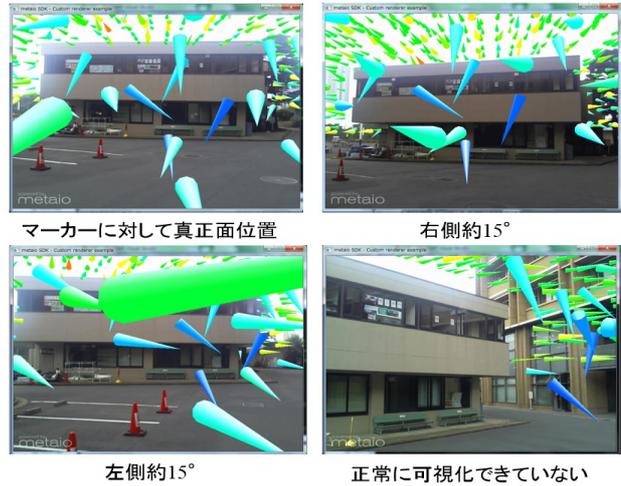


図-11 実行結果

5. おわりに

本研究では、環境流れ問題に対する2DマーカーレスARによるトラッキング技術を用いたAR可視化システムの構築とその妥当性検証を行った結果、以下に示す結論を得た。

- 構造物まわりの風環境シミュレーションの計算結果のAR可視化が可能となった。
- カメラ画像にマーカーとして用いた画像の約1割以上が映っていれば、マーカー全体が実風景画像と正しくマッチングせずとも、トラッキング可能であることを確認した。
- 屋外における2DマーカーレスARで正常に可視化されるマーカー正面からのずれ角度は左右約 15° まで移動可能であることを確認した。

今後の課題として、他の可視化手法のAR表示の実装、臨場感のあるフォトリアリスティックな可視化表現の検討およびマーカーとした風景画像と気象条件が異なる場合についての検討などが挙げられる。

参考文献

- 1) 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.
- 2) N.Yabuki, S.Furubayashi, Y.Hamada, T.Fukuda: Collaborative Visualization of Environmental Simulation Result and Sensing Data Using Augmented Reality, *Proceedings of the International Conference on Cooperative Design, Visualization, and Engineering (CDVE 2012)*, pp.227-230, 2012.9.
- 3) Metaio 公式サイト, <<http://www.metaio.com/index.html>>, (アクセス 2015.06.23).
- 4) 工学ナビ, ARToolKit を使った拡張現実感プログラミングホームページ, <<http://kougaku-navi.net/ARToolKit/>>, (アクセス 2015.06.23).