

(2) 自然特徴点の3次元配置にもとづく 多視点マーカレス AR による手書きメモ表示

安室 喜弘¹・浅井 優志²・窪田 諭³

^{1,3}正会員 関西大学 環境都市工学部 都市システム工学科
(〒564-8680 大阪府吹田市山手町3丁目3番35号)
E-mail: yasumuro@kansai-u.ac.jp

²非会員 関西大学大学院 理工学研究科 環境都市工学専攻 都市システム工学分野
(〒564-8680 大阪府吹田市山手町3丁目3番35号)
E-mail: k409907@kansai-u.ac.jp

近年、現場作業において普及が進むタブレット端末に搭載されているカメラと手書き入力機能に注目し、タブレットで作業者が手書きでメモをした内容を現場で AR (Augmented Reality) 表示することで、効果的な情報共有を可能にすることを目的とする。作業者が現場で手書きした内容とともに、背景のカメラ画像の自然特徴点を登録しておくことでマーカレス AR を実施する。従来のマーカレス AR では、表示可能な観察角度の範囲が限定的であったため、本研究では、SfM (Structure from Motion) を基に立体的に自然特徴点を登録して用いることにより、AR 表示可能な観察範囲を向上させた。コンクリート構造物の点検を想定した実験において確認した提案手法の AR 表示性能について報告する。

Key Words: handwritten note, marker-less augmented reality, worksite, information sharing

1. はじめに

我が国の社会資本ストックは1950～1970年代に集中的に整備され、今後一斉に老朽化するインフラを戦略的に維持管理・更新することが求められている¹⁾。また、就業者の高齢化が進み、技術伝承などが問題となっている。そこで、現場作業の効率化のために可搬型のスマートデバイスを活用する事例が増加している。図面や写真をタブレットに取り込むことで、現場での資料閲覧や各種点検に繋がっている。

筆者らは、手書き入力機能とカメラを併せもつタブレット型デバイスに注目し、現場の実写画面に、直接手書き入力で書き込むことにより、即座に留意点や業務内容を共有するシステムの開発に取り組んできた²⁾。その記録を保存しておき、再度同じ現場をカメラで写した際に、自動的に同じ内容を提示することで、情報伝達を支援する AR (Augmented Reality) システムとなる。キーボード入力だけでなく、手書きでの比較的自由な表現で作業者の意思や指示情報を蓄積し、各所で自動的に選択して AR で視覚的に表示する機能を実現することで、後続の作業への情報伝達を現場で支援し、人手不足が懸念される現場への人材投入の一助を図ることを目的とする。

2. 関連研究・技術

(1) 手書き記録とタブレットによる管理のニーズ

橋梁の詳細点検の目的としては、定期的に橋梁の状態を詳細に把握し、早期に橋梁の損傷を発見することで安全かつ円滑な交通を確保するということである³⁾。コンクリート橋における点検では、ひび割れなどの損傷をチョークで記録したり、野帳などに手書きでスケッチすることで損傷具合を記録している。前回点検時から変化が確認されたかなどひび割れの進行具合を確認する。

(2) AR 導入の先行事例

施設管理や点検、あるいはその作業に関する教育を目的とした用途において、AR を活用している既往の研究例は数多く存在する。その着眼点は、やはり、実写像に対応した付加情報を重ねて表示する機能によって円滑な情報伝達が視覚的に可能になることを期待されていることである。AR はユーザ端末カメラの位置や視線方向を把握し、付加情報を実像上の適切な位置にマッピングする必要がある。施設管理を対象とした環境においては、カメラで認識できる可視マーカを使った AR 技術が多く利用されている⁴⁾。しかし、屋外環境や規模の大きな

現場では、コストや耐久性、景観等による制約から必ずしも実用的ではない。一方、屋外であれば、端末内蔵のGPSや加速度センサなどを使ったロケーション技術を組合わせた方法も実用性がある。しかし、大きな建造物の近傍や橋梁の桁下などの現場では、GPSの精度が著しく低下することが珍しくなく、カメラで取得可能な資格情報に基づいたマーカレスARが利用されている⁴⁾⁵⁾。マーカレスARは、決まった図案の可視マーカの代わりに、自然特徴点の集合を含む現場の画像を登録しておくことでランドマークとし、同じシーンを画像にとらえたカメラ映像から登録済みの特徴点を識別し、AR表示の位置合せに使用する。

3. 提案手法

(1) 概要

本研究では、単体の画像によって自然特徴点をランドマークとして登録する代わりに、異なる方向から撮影された複数の画像に含まれる自然特徴点をランドマークとすることによって、AR表示を観察可能な視点範囲を拡大させる方法を提案する。ランドマークには、複数視点から対象物を撮影した画像を用いて、SfM (Structure from Motion)によって3次元復元を行うことで、各画像に含まれる自然特徴点が、復元された3次元モデルの表面に配置することが出来る。

提案手法の処理の流れを図-1に示す。まず、現場での作業情報登録時に、SfM用に対象物の写真を複数枚撮影して登録する。作業者は点検業務として、点検記録や次回点検時に確認・共有すべき手書きのメモ等も登録するものとする。システムでは、登録された画像を用いてSfMを実施し、3次元モデルを生成する。またSfMに使用した画像における自然特徴点を抽出し、3次元モデル上で対応する3次元座標を登録する。これらの対応から、座標変換行列を算出することで、手書きメモをAR表示する3次元位置を決定しておく。また手書きメモの内容も画像データとして保存する。次に、現場でAR表示を利用して情報を参照する場合は、点検作業者が、対象箇所を端末のカメラで撮影する。システムは、画像中の自然特徴点を抽出し、SfMに使われた複数の画像の特徴点とのマッチングにより、登録してある3次元座標とカメラ画像の対応を基にカメラの位置姿勢を推定し座標変換行列を算出して事前に登録した情報をAR表示する。

(2) 特徴点における2次元と3次元の座標の対応付け

SfMはその処理の中で、入力画像群から抽出した共通する自然特徴点に対して三角測量を適用して3次元復元を行っている。したがって、SfMで用いられている自然

特徴点と同種のもをAR表示用の入力画像に対しても抽出すれば、画像上の自然特徴と3次元復元後の3次元座標との対応付けが容易である。本研究では、図-1に示すように、AR表示用のカメラ入力画像とSfMに用いた画像との間で、自然特徴点のマッチングを行い、最も多く対応付けられたSfM用画像上の特徴点から、対応する3次元モデル上の3次元座標を取得する。そしてカメラ入力画像の2次元座標との対応からPnP問題を解くことで、カメラの位置姿勢を推定する。このように、異なる角度から撮影したSfM画像が単一の3次元座標系で幾何的に統合されて参照可能となっていることにより、従来の視点よりも広範囲な角度からAR表示が可能になる。

(3) AR表示の実装方法

図-2に示すように、対象物に3次元座標系を付与し、カメラ座標系との相対的な幾何学関係を示す。カメラ座標系からこのランドマークが示す世界座標系へ座標変換して、AR情報を表示させる。この変換は、カメラ座標系原点での回転行列 R と並進ベクトル t で構成される。これは、カメラ入力画像と登録されている特徴点とのマッチングにより、2次元と3次元と座標を対応付けからPnP (Perspective n-Point)問題を解いて、カメラの位置と姿勢を算出できる。従来法は、ランドマーク画像のなす平面を、世界座標系において X_m-Y_m 平面と規定し、画像上の自然特徴点の 픽셀位置 (x_m, y_m) に対して、たと

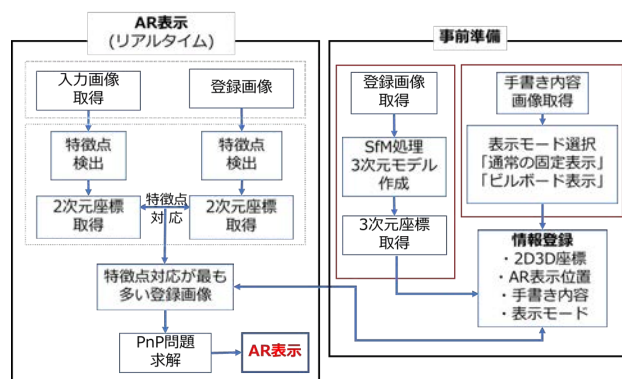


図-1 システムの処理概要

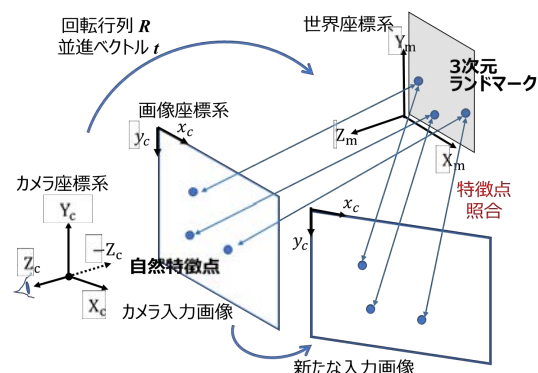


図-2 従来のマーカレスARのカメラ位置姿勢の計算

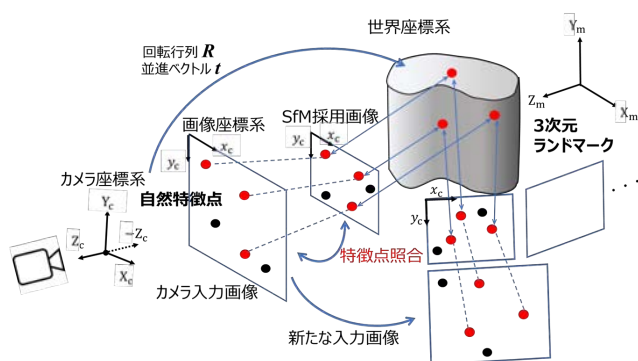


図-3 提案手法によるカメラの位置姿勢の計算



図-5 作成した 3D モデル (柱状構造物)



図-4 実験環境 (関西大学構内)

例えば $X_m = x_m, Y_m = y_m, Z_m = 0$ として 3 次元のランドマークとする．新たなカメラ画像についても自然特徴点を抽出し，ランドマークとマッチングして対応付けて，回転行列 R と並進ベクトル t を計算する．しかし，この方法では特徴点が， X_m - Y_m 平面上だけで登録するため，機能する観察角度が限られていた．そこで，本研究では，図-3 に示すように，カメラ入力画像と SfM で使用された画像とを ORB (Oriented FAST and Rotated BRIEF) ⁹⁾ による特徴点で対応付けを行い，最も多く対応付けられた画像上での特徴点の 2 次元座標と，SfM により付与された 3 次元座標との対応から PnP 問題を解くことで，従来の視点よりも広範囲な角度から AR 表示が可能になる．

4. 実装・実験

(1) 実験概要

橋梁の橋脚部を想定した柱状の構造を対象として，関西大学構内で実験を行った (図-4)．作業者が現場でタブレットを用いて点検を開始する．タブレットをかざすだけで前任者が登録した指示内容が AR 表示され，経験の浅い作業でも視覚的に情報を共有することを確認する．また，2 次元平面画像での AR 表示と，SfM を用いた AR 表示とで作業者が確認する視線の角度によって表示精度にどれだけ違いがあるかを確認する．

本研究では，手書き入力付きスマートデバイスとして Surface Book2 (Microsoft) を使用した．手書きメモは画像として保存しておき，表示位置や表示モードの情報と合わせて，ファイル名によりランドマーク画像と対応付けを



図-6 従来法による AR 表示結果



図-7 提案手法による AR 表示結果

行う．また，メモの文字の視認性を考慮して背景を白とした．保存した手書きメモの画像処理や自然特徴点による特徴点の検出，カメラの位置姿勢の推定，AR 表示のためのマーカ認識には OpenCV，画像のテクスチャマッピングやポリゴンの描画処理には OpenGL を使用した．プログラムを開発・実行する環境として Microsoft Visual Studio 2015 を用い，C/C++ 言語で実装した．自然特徴として，計算速度が速く，ライセンスフリーで誰でも利用可能である ORB 特徴量 ⁹⁾ を用いた．SfM の処理には，

Metashape (Agisoft 社製) を利用し、26 枚の画像を用いた。

(2) 実験結果

図-5 は SfM により生成した対象物の 3D モデルである。図-6 は従来法による AR 表示結果であり、図-6 (上段) の正面に見えるのが、ひび割れなどに関するメモ書きが登録されているものと想定している箇所である。およそ正面からだ、登録した通りにメモ書きの画像が AR 表示されているが、図-6 (下段) のようにランドマークの平面と視線との角度によって、AR 表示されるメモの姿勢が正確ではなかったり、全く違う位置が算出されて表示されないこともある。これに対して、提案手法では、図-7 に示すように、同様の条件に加えて、さらに全く



図-8 作成した 3D モデル (曲面の柱状構造物)



図-9 曲面形状の柱の特徴点対応結果



図-10 曲面形状の柱に対する AR 表示結果



図-11 曲面形状の柱に対する AR 表示結果 (夜)

違った角度からカメラを向けても正確に AR 表示が機能することが確認された。図-8 は従来法では対応できない曲面のみで構成される形状の構造物に提案手法を適用した場合の SfM による 3D モデルである。図-9 はその表面に登録された ORB の特徴点を示している。図-10 には AR 表示した結果が示されており、安定してどの角度からでも、あらかじめ登録されたメモ書きの情報が AR 表示されることが確認できた。また、特徴点を登録した昼間と全く違う夜間の時間帯に実施した例が図-11 である。日照下ではなく、電照による証明条件の違いはあるが、安定して AR 表示が可能であることが確認できた。

5. おわりに

本研究では、従来の平面上の特徴点を用いた AR 手法では実現できなかった観察角度からでも、AR 表示が可能となる立体的な特徴点配置を使った手法を提案し、その効果を確認した。多視点から観察される自然特徴を登録していることから、比較的正面からの見え方の再現性が高い特徴を捉えていることが期待でき、天気や照明環境が多少違っていても、帰納することが期待できる。

現実装では、画像のマッチング処理が重いことから AR 表示が滑らかに表示できていないため、今後は効率よく画像を登録できるよう枚数を選択する仕組みを検討して処理負荷を軽減し、実地作業のワークフローにあった画像登録を検討する予定である。

参考文献

- 1) 国土交通省:社会資本の老朽化の現状と将来、
<http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/maintenance/02research/02_01.html>, (入手 2017.07.05).
- 2) 浅井優志, 廣瀬詢, 安室喜弘: 橋梁点検における情報共有の為の手書きメモの AR 表示, 土木学会論文集 F3, Vol74, No2, pp. II_118-II_124, 2018.
- 3) 大阪市橋梁点検要領【詳細点検・詳細調査編】,
<<http://www.city.osaka.lg.jp/kensetsu/cmsfiles/contents/0000039/39875/mokuji.pdf>>, (入手 2018.03.12).
- 4) 弓部良樹, 瀬川修, 山北誠: モバイル AR を用いた屋外通信設備の巡回点検教育支援システムの検討, 情報処理学会研究報告, Vol.2016-HCI-166, No.10, 2016.
- 5) 松河剛司, 中村栄治, 山本義幸: 地下街での使用を目的とした地上建築物が見える AR ナビシステムの開発, 土木情報学シンポジウム講演集, Vol43, pp.209-212, 2018.
- 6) Rublee, E., Rabaud, V., Konolige, K. and Bradski, G.: ORB: an efficient alternative to SIFT or SURF, *IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*, pp.2564-2571, 2010.