

(25) 自然特徴点の立体的配置に基づいた 手書きメモのマーカレス AR 表示

浅井 優志¹・森 直紀²・安室 喜弘³

^{1,2}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

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

近年、現場作業においてタブレット端末の利用が普及している。本研究では、タブレット端末の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を保存するとともに、カメラ画像からは自然特徴点を抽出して登録する。現場の画像自然特徴点を用いた従来のマーカレス AR では、表示可能な観察角度の範囲が限定的であった。本研究では、SfM (Structure from Motion) を基に立体的に登録した自然特徴点を用いることにより、AR 表示可能な観察範囲を向上させ、コンクリート構造物の点検を想定した実験における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。

本研究では、手書き入力機能とカメラを併せもつタブレット型のスマートデバイスに注目する。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記録できる。さらに、その記録を保存・登録しておき、再度同じ現場をカメラで写した際に、自動的にその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。キーボードによるテキスト入力だけでなく、手書きでの比較的自由な表現形式で作業者の意思や指示情報を蓄積し、各要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作業現場への人材投入における一

助を図ることを目的とする。

2. 関連研究・技術

(1) 橋梁点検における手書き作業

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²⁾。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 表示のニーズ

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、実像に付加情報を重ねて表示する機能によって視覚的に円滑な情報伝達が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。

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が、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³⁾。しかし、大きな構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い。従来はカメラで認識できる自然特徴点を採用したマーカレス 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認識し、AR 表示の位置合せに使用する。本研究では、SfM を用いて複数枚の現場写真から 3 次元復元を行い、画像の特徴点に対応する 3 次元座標を使用することで、従来の画像平面内の特徴点では認識され難かった角度からの AR 表示の改善を検討する。

3. 提案手法

(1) 概要

本研究では、橋梁点検作業において、点検作業者がスマートデバイスを通して直接現場の画像上に書いたメモを登録し、自動的に AR 表示されるシステムを開発している。従来のマーカレス AR の方法では、現場でスマートデバイス越しに見える対象物の画像（以下、ランドマーク画像）を登録し、その画像内に含まれる自然特徴点の普遍性を利用してマーカレス AR 表示を行っていた。ランドマーク画像は 2 次元平面である為に、マーカへの視線が正対方向から外れると認識されにくくなることや、登録画像ごとに独立の座標系を持つため、マーカ情報の管理も煩雑になりかねない。本稿では、対象となる構造物を SfM で 3 次元再構成することにより 3 次元データを作成し、1 つの座標系で 3 次元的に配置された特徴点を登録することで、手書きメモの AR 表示精度の向上を検討する。

(2) AR システム

作業者が画面に直接書きこんだメモ内容を、画像情報として保存し、現場で得られる実写画像に自動的に重畳することで手書きメモを AR 表示する。手書きメモの画像情報をテキストチャとして、平板のポリゴンにマッピングすることでカメラ画像に重畳表示するオブジェクトとなる。処理の流れを図-1 に示す。情報登録時は現場で作業者が点検業務の際に行い、点検記録そのものの登録や次回点検時に確認・共有すべき内容も登録する。まず

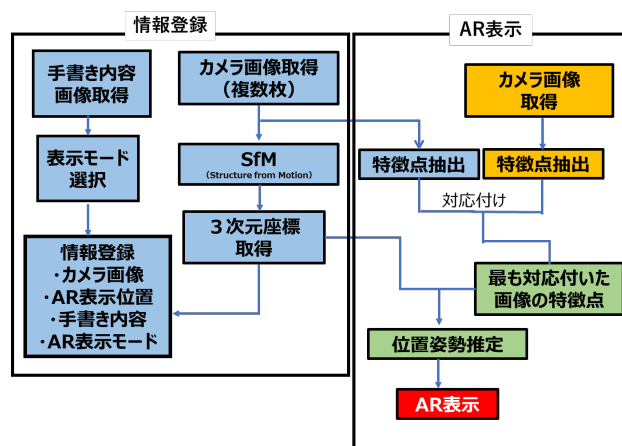


図-1 システムの処理概要

現場で対象となる構造物を複数枚撮影し、SfM により 3 次元データを作成する。SfM に使用した画像と作成した 3 次元データの特徴点を検出し、座標変換行列を算出することで、手書きメモの表示位置を決定する。また手書きメモ内容を画像データとして保存するとともに、AR 表示方法の選択も行っておく。次に、前回の点検記録や作業指示の確認をする場合について、AR 表示を利用する際は、ユーザ端末によりカメラ画像を取得、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することで事前に登録した情報を AR 表示する。

(3) AR 表示の実装方法

従来のマーカレス AR の実装方法は図-2 に示すように、ランドマーク画像は、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、手書きメモのオブジェクトを表示させる。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ランドマーク画像の特徴点のマッチングにより、3 次元と 2 次元の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推定することで算出される。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ピクセル位置 (x_m, y_m) に対して $X_m = x_m, Y_m = y_m, Z_m = 0$ とし、3 次元空間でのランドマークとする。新たなカメラ画像入力についても、自然特徴点を抽出し、特徴量の類似性から、ランドマークとの対応付けを行う。この対応関係を基準として、メモ書き情報の AR 表示位置を計算する。

しかし、この方法では登録してあるランドマーク画像が、 X_m - Y_m 平面の特徴点である為、視点がずれると同じ

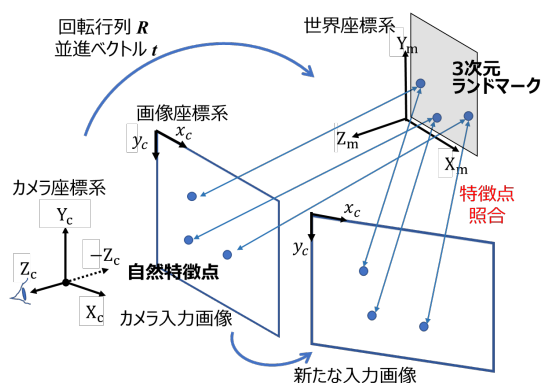


図-2 従来の位置姿勢の計算

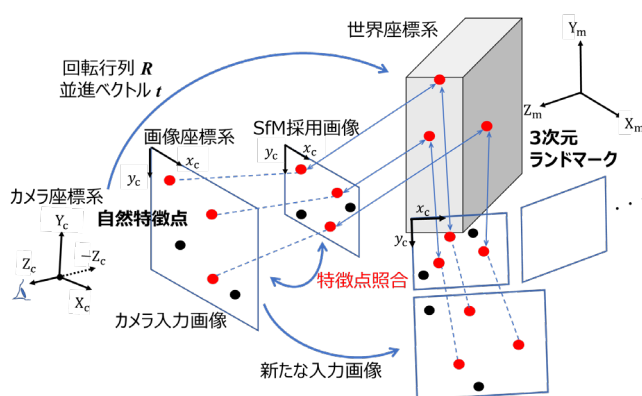


図-3 3次元モデルの特徴点を用いた位置姿勢の計算

特徴点として認識され難いことから AR 表示が不安定となっていた。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) ⁶⁾ 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 表示が可能になると考える。

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



図-4 実験環境 (関西大学構内)

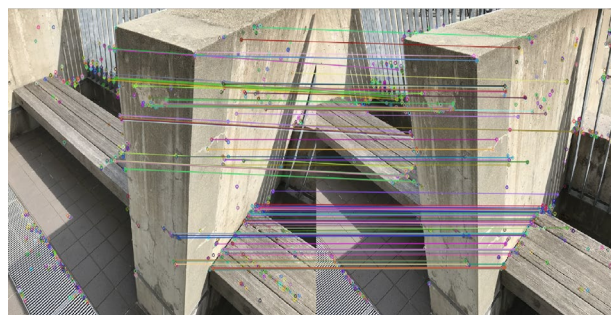


図-5 ORBによるSfM採用画像 (左)

とカメラ画像 (右) の対応

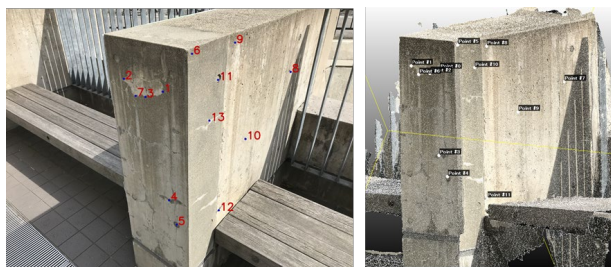


図-6 PnPに使用した2次元座標 (左) と
3次元モデルの3次元座標 (右)

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。

(2) 実装

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。一連のプログラムを開発・実行する環境として Microsoft VisualStudio2015 を用い、C/C++ 言語で実装した。本実験では計算速度が速く、ライセンスフリーで誰でも利用可能である ORB 特徴量を用いた。SfM の処理には、photoscan を利用し、26 枚の画像を用いた。図-5 は SfM 適用画像と、ある 1 つの視点でのカメラ入力画像で最も対応づいたものであり、対応点数が、141 点となった。この対応点から数点を手動で選択し、図-6 のように 2 次元座標と 3 次元座標を手動で選択し PnP を解くことで、カメラの位置姿勢を算出した。



図-7 画像平面の特徴点による AR 表示結果



図-8 SfMで作成したモデルの3次元座標を用いて算出した AR 表示結果

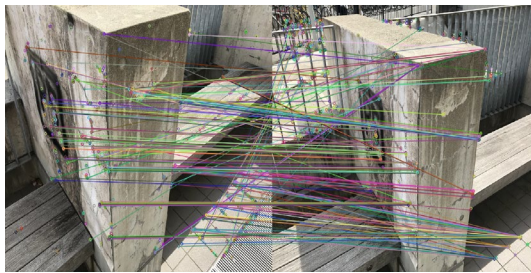


図-9 ORBによる SfM 採用画像 (左) とカメラ画像 (右) の対応

(3) 実験

図-7 は対象物の平面部分の画像をランドマークとして PnP を解き、AR 表示した結果である。現場に行き、タブレットをかざすだけで事前に登録してある共有した手書き情報を視覚的に得ることができた。しかしほんの少し視点がずれると、メモ画像が不安定となり確認し難い状態となった。さらに視点を移動すると全く AR 表示が出来ず、情報を確認することが難しい結果となった。

一方、SfMにより得られた3次元座標を基に視点を変えて AR 表示した結果が図-8 のようになった。

従来の手法では AR 表示が不安定となっていたり表示も出来ない角度からでも、メモを表示することが出来ており、情報を共有することが出来た。

5. おわりに

本研究では、従来のランドマーク画像平面の特徴点を用いて PnP 問題を解き AR 表示した結果と、今回の SfM で作成した3次元モデルの特徴点を用いて PnP 問題を解き AR 表示した結果を、視点を変えて比較し精度が従来の手法より向上しているかを実験した。従来の方法では AR 表示できなかった視点でも今回は表示すること出来たことから、3次元モデルの座標を使って PnP 問題を解くことは有用であることが確認できた。しかし、カメラ画像と SfM に使われた画像とのマッチングにおいて、図-9 のように、あまり正しく特徴点に対応していない場合があった。今後は、SfM に使用する画像の枚数を増やし、カメラ画像とより似た姿勢の画像を探索できるようにするか、対象物以外の余計な特徴点を対応付かないように設定を工夫する必要があると考える。また、ORB により対応付いた特徴点と3次元モデルの座標を自動で対応付けて PnP を解くことがなどが課題である。

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) 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).
- 3) 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, pp.1-8, 2016.
- 4) 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.
- 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)*, Vol1, pp.2564-2571, 2011.