

Visual SLAM を用いたマーカーレス AR システムの開発検証と現場展開

安藤ハザマ 正会員 ○早川健太郎 正会員 黒台 昌弘
正会員 澤城光二郎 丸木 敬一

1. はじめに

建設工事における CIM 利用において、CIM モデルを実映像と重ね合わせる AR（拡張現実感）技術を用いた活用事例が多く見られる。映像として視認できる現場現況に CIM モデルが重ね合わされて表示されるため、工事前の地形上にあたかも構造物が建設されたような臨場感を持って CIM モデルを閲覧できるものである。この時、実映像と CIM モデルの重ね合わせ位置がずれると違和感が生ずることになるため、その重ね合わせ位置を調整する方法の研究が進められてきた¹⁾²⁾。筆者らはその方法として Visual SLAM（自己位置推定技術：Simultaneous Localization and Mapping）に着目し、施工管理で活用できる AR システム（以降、本システム）を開発したので、本稿にて報告する。

2. Visual SLAM の適用

AR 技術を用いて CIM モデルを見る場合、工事座標系と CIM モデルの描画座標系を一致させる必要がある。その方法として、位置合わせの基準となる AR マーカーを現場内に設置する方法と AR マーカーの代替となる特徴点を映像内に設ける方法（マーカーレス AR）がある。本システムでは後者の 1 つである Visual SLAM を適用した。Visual SLAM とは、映像中の特徴点を自動的に複数抽出し（図-1 参照）、それらをトラッキングすることで、特徴点間の距離や配点形状等からカメラが動いた時の位置や姿勢を推定する技術である³⁾。Visual SLAM によって推定されたカメラの位置や姿勢、撮影方向のデータを用いて CIM モデルと実映像とを重ね合わせるとき、カメラの動き（パンやチルト）の推定結果が重ね合わせ精度に影響を与える。

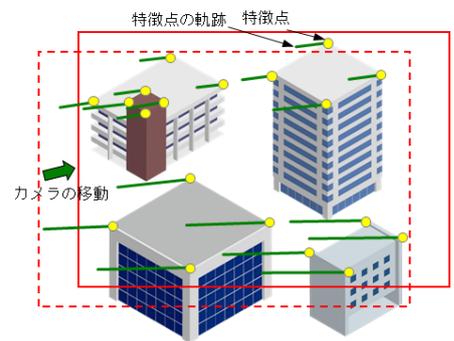


図-1 Visual SLAM の概要図

3. 精度検証実験 1（カメラをパンした時の Visual SLAM の性能確認）

橋脚工事現場の一部（約 90×90m）にて検証実験を行った。図-2 に示すように現場内には、0 方向セットとカメラ深度方向の距離計算のために基準点を 1 点設置し、精度を確認する検証点はパン角度 0,15,30,45 度方向に沿って 11 点配置した。ここでは Visual SLAM をカメラの姿勢を推定することのみに用い、カメラは座標が既知である固定点に設置している。実験はカメラが基準点を正面に捉えた状態（パン角度 0 度）から開始し、特徴点をトラッキングしていることを確認した後に、カメラを水平方向に回転（左に 15 度、右に 15,30,45 度）させながら検証点座標と検証用 3D モデルのずれ量を計測することで重ね合わせ精度を把握した（図-3）。その結果、図-4 に示すように、パン角度が大きくなるにしたがって、ずれ量（ピクセル(px)表示）が大きくなる傾向が判明した。

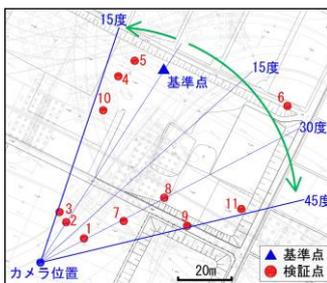


図-2 基準点、検証点設置位置



図-3 特徴点（赤点）と検証用 3D モデル

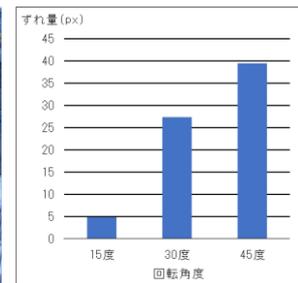


図-4 検証実験 1 の結果

キーワード AR, CIM モデル, Visual SLAM

連絡先 〒305-0822 茨城県つくば市荻間 515-1 安藤ハザマ 技術研究所 先端・環境研究部 Tel.029-858-8815

4. 精度検証実験2 (補正点によるずれ量の抑制効果確認)

実験2では、実験1で判明した現象を解決するため、パン角度が最大となる75度付近に、カメラ回転時のずれ量を抑制することを目的に補正点を2点設置した(図-5参照)。検証点はパン角度(中心から左右に15,30,45,60,75度)に合わせて20点を配置した。また、この実験では0セット方向に基準点を4点設置し、Visual SLAMを用いたカメラ位置推定も試みた。

実験2は実験1と同様に、検証点座標と検証用3Dモデルのずれ量を計測した。各検証点でのずれ量の計測結果を図-6に示す。図中の近似曲線が示すようにパン角度と共にずれ量が増加する傾向があるが、全ての検証点でずれ量が8px以下となり、結果として検証点全体での平均ずれ量は2.8pxとなった。映像の1pxあたりの実寸法は被写体位置とカメラ位置の離隔によって異なるが、本実験の検証点での実映像とCIMモデルの重ね合わせ精度は平均で55mmである。また、図-4と図-6を比較すると次のようなことがわかる。すなわち、カメラのパン角度が30度未満では数pxのずれ量であるが、30度以上になると補正点の有無によってずれ量に大きな差が表れている。このことから、ずれ量が大きくなるパン角度の最大値付近に補正点を設けることで、重ね合わせ精度が向上することがわかった。

この結果を受けて、本システムを橋脚下部工の現場に導入した状況を図-7に示す。完成形のCIMモデルを進行中の現場映像にARを用いて重ね合わせたものである。現況とCIMモデルの位置関係が直感的にかつ精度良く把握できるため、経験の浅い若手技術者であっても、土留めと構造物の離隔確認や頻繁に出入りする重機の動線確保といった施工計画において有効に活用している。

5. おわりに

本稿ではマーカーレスAR技術としてVisual SLAMを導入したシステムを開発し、施工現場で活用している事例を示した。開発の過程では、位置合わせのための補正点を用いてVisual SLAMの特徴を最大限に発揮することで重ね合わせ精度が向上することを確認できた。本システムは一般的なタブレットに搭載したが、現在2眼カメラを備えたタブレットやスマートフォンが登場している。Visual SLAMに加えて2眼カメラの視差を用いればさらに重ね合わせ精度が向上し、現場活用が促進されるものと期待する。

謝辞: 本システムの開発や検証実験に際しては凸版印刷株式会社様と株式会社Qoncept様から多大なご協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 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, 土木情報学シンポジウム講演集, Vol.43, pp.197-200, 2018
- 2) 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, 土木情報学シンポジウム講演集, Vol.43, pp.209-212, 2018
- 3) 亀田能成: マーカーレスAR, 映像情報メディア学会誌, 66巻, pp.45-51, 2012

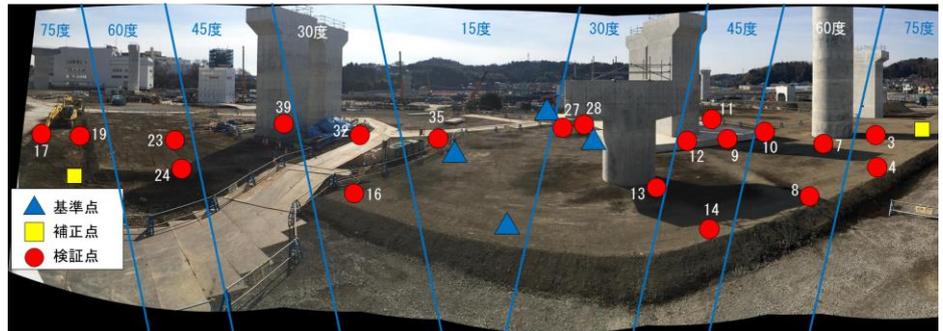


図-5 基準点, 補正点, 検証点の設置位置とカメラのパン角度

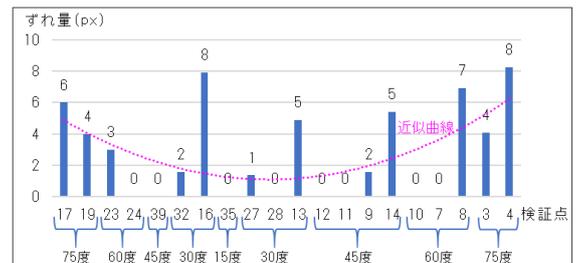


図-6 検証実験2の結果

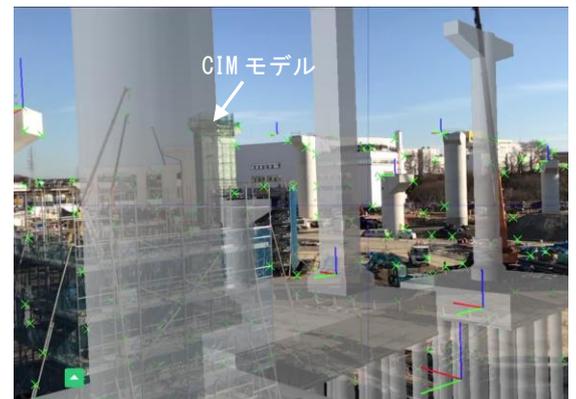


図-7 現場での運用状況